

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**Progetto di monitoraggio e riqualificazione
del canale adduttore di Chavonne**

Relatore:

Bernardino Chiaia

Candidato:

Lorenza Abbracciavento

Torino,

Indice

Premessa	8
CAPITOLO 1	11
Manutenzione e Monitoraggio	11
1.1 Definizione di manutenzione e monitoraggio.....	12
1.2 Punti fondamentali.....	12
1.3 Classificazione	13
1.4 Manutenzione Preventiva.....	13
1.5 Manutenzione Correttiva	14
1.6 L'importanza di progettare un sistema di manutenzione	15
1.7 Come è strutturato un piano di manutenzione.....	17
1.8 Monitoraggio e Manutenzione nel nostro caso studio.....	19
CAPITOLO 2	21
Contesto generale.....	21
2.1 La centrale di Chavonne.....	23
2.2 Il sistema dei canali adduttori.....	24
CAPITOLO 3	28
Contesto idrogeologico.....	28
3.1 L'opera nel contesto geo idrologico	29
3.1.1 Generalità	29
3.1.2 Modellamento glaciale	29
3.1.3 Idromorfologia.....	30

3.1.4 Processi gravitativi	32
3.1.5 Cenni alle caratteristiche geologiche	34
3.1.6 Substrato roccioso	35
3.1.7 Coperture superficiali	37
3.1.8 Cenni alla permeabilità	39
3.1.9 Generalità sui dissesti osservati	40
3.1.10 Fenomeni di dissesto connessi con la presenza del sistema adduttore	41
3.2 Storiografia dei dissesti	43
3.3 La funzione di tenuta idraulica	52
CAPITOLO 4	55
Sintesi dell'attività di rilievo	55
4.1 Planning del sopralluogo	58
CAPITOLO 5	62
Presentazione e analisi del problema	62
5.1 A – COLLETTORE	65
5.1.1 DIAGNOSI CRITICITA' DEL COLLETTORE	76
5.2 B – FENILLE	86
5.2.1 DIAGNOSI CRITICITA' FENILLE	95
5.3 C – LA NUOVA	101
5.3.1 DIAGNOSI CRITICITA LA NUOVA	104
CAPITOLO 6	105
Classificazione dei movimenti franosi	105
6.1 Nomenclature	109
6.2 Tipologie di movimenti franosi	111

6.3 Analisi di stabilità dei pendii.....	117
6.4 Criteri di intervento per la stabilizzazione delle frane.	120
CAPITOLO 7	125
Proposta di soluzione	125
7.1 Osservazioni.....	128
7.2 Interventi caduta materiale da monte	129
7.3 INTERVENTI SUL CANALE.....	132
7.3.1 Il canale visto come un insieme di blocchi rigidi	133
7.3.2 Proposta di monitoraggio	134
7.3.3 Catena inclinometrica	136
7.3.4 Calibrazione del sistema	143
7.3.5 Layout del sistema.....	143
7.3.6 Punti forza del sistema di monitoraggio.....	144
7.3.7 Installazione	145
7.3.8 Costi dell'istallazione	147
7.2 Esempio di applicazione in ambito ferroviario.....	147
CAPITOLO 8	154
Conclusioni	154
Allegati	156
A – COLLETTORE.....	157
B – FENILLE	158
C – LA NUOVA.....	159
Bibliografia	161
Ringraziamenti	162

Premessa

Il presente documento riporta la descrizione dell'attività di indagine svolta presso le due principali opere di presa del sistema adduttore di Chavonne, le successive analisi e le proposte di intervento offerte dal Politecnico di Torino.

Lo scopo del documento è di condividere con la committenza la valutazione del rischio indagata precedentemente e successivamente l'attività di sopralluogo e le conclusioni a cui il gruppo di lavoro è approdato.

È interessante come la lettura del problema diventi di forma più semplice attraverso la istituzione di una gerarchia di criticità le quali possono riconoscersi come indipendenti o interdipendenti tra loro. La segmentazione del problema rappresenta infatti la metodologia principe nel protocollo d'azione ingegneristico.

La ricerca delle criticità nevralgiche e l'individuazione della loro natura non è però sufficiente alla contestualizzazione completa di un problema. Un altro aspetto fondamentale che aiuta a delineare in maniera esaustiva il quadro di indagine è la misura dell'incidenza delle criticità individuate.

Utilizzando un approccio di questa natura, assegnando dunque ad ogni criticità un livello di priorità è possibile infatti avere una *"media pesata"* delle problematiche (ciò che di fatto ci interessa) anziché un elenco di infiniti punti, che risulta di efficienza assai bassa poiché la comunicazione risulta subordinata all'informazione.

Il Politecnico di Torino si impegna pertanto, nel seguente documento e nell'approccio generale del problema, ad individuare in maniera esaustiva le criticità e la misura della loro incidenza al problema generale, servendosi degli strumenti di importanza trasversale a qualsiasi disciplina quali sintesi e chiarezza.

A seguito della suddetta analisi si procede con la ricerca di:

soluzioni alle criticità individuate;

metodologie di prevenzione per i possibili scenari di rischio a cui la struttura e il contesto sono sottoposti.

È evidente che interventi di natura palliativa determinano un evidente disagio a causa del peso economico e dell'interruzione della produzione poiché questi necessitano essere ripetuti con una determinata frequenza, risultando d'altro canto delle "apparenti" soluzioni. Si preferisce pertanto la ricerca di soluzioni di carattere definitivo o per lo meno che siano in grado di eliminare il bisogno di interventi straordinari.

Il risultato finale per il quale si lavorerà è:

- Riportare la struttura a *livelli di sicurezza* adeguati;
- Fare in modo che il funzionamento della struttura sia garantito da interventi di carattere ordinario e che non risulti necessario ricorrere ad interventi invece di carattere straordinario;

poiché "le centrali e tutti gli altri luoghi di produzione hanno una valenza non solo produttiva, ma anche paesaggistica e culturale, diventando patrimonio universale, meta di piacevoli escursioni e strumento di apprendimento sul campo."

Si ringrazia la committenza per la disponibilità e le informazioni gentilmente concesse.

CAPITOLO 1

Manutenzione e Monitoraggio

L'obiettivo di questo progetto è documentare le informazioni della struttura e innescare una serie di procedimenti per elaborare un piano di manutenzione correttiva e monitoraggio preventivo.

1.1 Definizione di manutenzione e monitoraggio

La definizione di monitoraggio è stata di gran lunga sviluppata nel corso del tempo da diversi autori, dovuto al fatto che esiste la necessità di conservare e mantenere non solo le strutture civili ma anche tutti gli apparati che possono deteriorarsi durante la loro vita utile.

“La manutenzione non è altro che l'insieme dei lavori che devono realizzarsi di forma ciclica verso gli elementi componenti della struttura e mantenere ad un livello di efficacia alto i servizi delle parti che o sono di utilizzo continuato oppure si trovano esposte a deterioramento “.

Questa considerazione si riferisce a quelle attività che devono realizzarsi di forma routinaria e costante per far sì che la conservazione si svolga in condizioni adeguate che consenta il raggiungimento della sua vita utile.

1.2 Punti fondamentali

La manutenzione è l'attività che garantisce il prolungamento della vita utile delle costruzioni e ha lo scopo di evitare che il degrado causi l'inutilizzo delle stesse. Gli aspetti fondamentali del monitoraggio e manutenzione diventano funzione della tipologia di struttura in analisi, e sono strettamente collegati con il periodo storico nel quale è avvenuta la costruzione dell'opera poiché da questa dipendono tecnologie e materiali impiegati. (Arencibia, 2008)

Il progetto e l'organizzazione della manutenzione delle strutture pubbliche e degli edifici privati è un elemento fondamentale per evitare perdite inutili di denaro e soprattutto perdite di tempo. Dunque la mancanza di questo step

produce disagi come una costruzione che si degrada prima del tempo e la limitazione della sua vita utile, abbassando inoltre la qualità della vita degli occupanti della struttura. (Ricucci, 2003).

Il processo di degrado di una struttura è dovuta alla interazione con l'ambiente, poiché la funzionalità delle stesse viene deteriorata dagli elementi ambientali come: il cambio di temperatura, le piogge, le radiazioni solari, l'umidità ambientale e anche l'uso che se ne fa durante il tempo. (Quintana, 2004).

Ricucci (2003) segnala che un piano di manutenzione è fondamentale dovuto al fatto che si tratta di una attività costante e parallela alla vita utile della struttura, poiché questa si degrada con il passare del tempo, cattivo uso di questa e la mancanza di conservazione. Per questo motivo si richiede una metodologia con delle basi tecniche che permetta di stabilire un uso sostenibile degli edifici e che si possa esercitare un controllo reale sul suo comportamento.

1.3 Classificazione

In base alle diverse caratteristiche della struttura come per esempio: il tipo di opera, il proprietario dell'immobile e il momento in cui viene realizzato, esistono diverse forme di classificare il tipo di manutenzione delle strutture. (Arencibia, 2008). Tra tutte, la classificazione che risulta essere più pratica e funzionale è quella che prende in considerazione il momento in cui si realizza l'opera e al seguito di questa si possono considerare le successive. Se si considera questa classificazione, si possono a sua volta riconoscere due tipi di manutenzione: preventiva e correttiva.

1.4 Manutenzione Preventiva

Il primo tipo di manutenzione dell'opera in ordine temporale è la manutenzione preventiva ovvero un'attività che si pianifica a monte. La manutenzione

preventiva e di conseguenza il monitoraggio è un'attività che ha come scopo principale la sicurezza dell'opera e di chi ne fa il suo utilizzo ma soprattutto quello di fare a meno che ci siano inutili consumi di denaro e tempo, soprattutto nei casi in cui siano stati fatti grandi investimenti per la realizzazione. Cerca di ovviare il verificarsi di danni e degradi nella struttura preventivamente in maniera tale da non tener che far fronte ai costi di riparazione che risultano generalmente più elevati della prevenzione. La manutenzione preventiva ha come scopo anche quello di allungare la vita utile della struttura e migliorare aspetti quali salubrità e estetica dell'edificio. (Garcia, 2002).

L'obiettivo della manutenzione di tipo preventiva è evitare che si creino danni prematuri negli elementi che costituiscono la struttura. Gli apparati e le strutture possono raggiungere la loro vita utile prevista se si offre loro un piano di manutenzione che sia adeguato alle caratteristiche dell'opera e dunque su questo concetto che si basa il tipo di manutenzione preventivo. È la scelta più adeguata in quanto si può progettare a monte un piano generale di interventi ordinari in maniera tale da avere un monitoraggio continuo e sempre aggiornato dello stato dell'opera. Si tratta dunque di pianificare un sistema di ispezioni sistematiche e di realizzare piccole correzioni che se eseguite ruotinarmente possono prevenire danni di dimensioni tali da richiedere interventi straordinari. (Matulionis & Freitag, 1990).

1.5 Manutenzione Correttiva

Il secondo tipo di manutenzione riconosciuto è invece eseguito successivamente alla rilevazione del danno, di qui la sua denominazione "correttiva" poiché l'intervento mira a correggere una azione deleteria che si è già verificata e rilevata sulla struttura. Il danno sulla struttura è in uno stato avanzato pertanto si manifesta già in maniera visibile o crea disagi notevoli per chi occupa

l'edificio o chi ne fa il suo regolare utilizzo, nei casi peggiori lo stato del danno impedisce il regolare uso dell'infrastruttura.

Nella maggior parte dei casi il costo per l'intervento correttivo o per la riparazione e sostituzione della parte danneggiata risulta molto elevato e questo è imputabile al fatto che molte delle suddette correzioni che si realizzano post-evento si sarebbero potute predire ed evitare. In sostanza, la manutenzione correttiva è l'intervento tempestivo al problema quando questo si è già verificato, risulta pertanto una necessità e non una azione pianificata a monte. Questo è il risultato dell'utilizzo dell'opera e della sua interdipendenza con il contesto ovvero con l'ambiente circostante.

1.6 L'importanza di progettare un sistema di manutenzione

Un piano di manutenzione ben redatto sia esso del primo o secondo tipo, nel contesto edile e civile, comporta numerose agevolazioni e benefici per chi ne fa il suo uso e per chi ne detiene la proprietà. Ha come obiettivo principale quello di minimizzare i danni prematuri dei diversi apparati e materiali la cui totalità garantisce l'organico funzionamento dell'opera, garantendo sicurezza e tutelando gli investimenti impiegati per la sua realizzazione. Come già anticipato nella descrizione dei due diversi modelli di manutenzione, il sistema di tipo preventivo risulta nella maggior parte dei casi molto più economico poiché gli interventi di tipo ordinario risultano di dimensioni e costo molto più esiguo degli interventi straordinari (che competono invece al sistema correttivo). La maniera corretta per adoperare la manutenzione preventiva è di progettare e aggiornare un piano in maniera che ogni elemento raggiunga gli step della sua vita utile in maniera controllata e monitorata. Un altro aspetto positivo è che la struttura che si conserva in ottime condizioni riflette una

immagine positiva della ditta al carico della quale sono i lavori. (Matulionis & Freitag, 1990).

Un'opera sprovvista di un piano di manutenzione è un'opera non sicura dunque risulta che un piano di manutenzione ha come obiettivo cercare i danni e i degradi che possono compromettere la sicurezza dell'edificio e di chi lo occupa o ne fa il suo uso.

Una delle ragioni principali per la quale si deve realizzare una operazione di manutenzione pianificata è che ogni elemento di cui è costituita un'opera o una struttura rappresenta un costo, i quali costi hanno delle conseguenze sui bilanci dell'intero progetto, pertanto vanno monitorati e se possibile attutiti. Secondo le considerazioni fatte da Arencibia (2008) la somma di denaro riservata alle operazioni di manutenzione e i costi che riguardano i regolari interventi durante la vita utile dell'opera possono arrivare ad essere tanto importanti da superare i costi di costruzione, e poiché la somma totale riservata a queste attività (al contrario di quanto avviene nella fase costruttiva) è molto complessa da prevedere a causa delle tante variabili che entrano in gioco, si opta per un tipo di manutenzione correttivo. Però la mancanza di un piano preventivo determinerà che in un breve periodo di tempo alcune funzioni della struttura possano venire meno. Dunque la previsione e l'impiego di questi costi diventano fondamentali per due motivazioni: rendono più prevedibili i risultati dello stato dell'opera tappa dopo tappa nella sua vita utile e rendono più chiari i bilanci economici poiché sin dall'inizio è possibile fare un confronto tra gli investimenti e i risultati che producono. Il problema però risiede sempre nella capacità di stimare correttamente l'ammontare di ogni operazione e per raggiungere dei risultati il più possibile veritieri è necessaria la confluenza di saperi di diversi campi. Per una corretta stima dunque è necessario tener conto

dell'ambito amministrativo e dell'ambito tecnico che congiuntamente definiscano l'origine dei lavori di manutenzione, le distribuzioni interne, i consumi puntuali, interventi frequenti, le relazioni causa e effetto degli errori e degradi.

Una dimostrazione del grado di importanza che assumono i costi può essere dimostrata dalla *Legge di Sitter*. La *Legge di Sitter* illustra l'efficacia di suddividere le fasi della vita della struttura che riguardano la costruzione e l'utilizzo, in 4 tappe: *progetto*, *costruzione*, *manutenzione preventiva* (che si suppone venga effettuata prima dei primi quattro anni), *manutenzione a posteriori* (che si suppone venga effettuato successivamente al verificarsi del problema). La legge di Sitter viene anche chiamata la *Legge del Cinque* poiché ad ogni tappa corrisponde un costo che segue la progressione geometrica di ragione 5 dunque se ne deduce che all'ultima tappa competono i costi notevolmente maggiori (Do Lado, 1997).

1.7 Come è strutturato un piano di manutenzione

Un piano di manutenzione con oggetto una struttura ha come obiettivo quello di fissare e organizzare procedimenti di intervento standardizzati in modo tale che vengano eseguiti nella maniera più efficiente possibile, sia nel caso in cui questi siano di prevenzione o correttivi, e in maniera che siano ben chiare le necessità che presentano tutte le singole componenti dell'opera. Per ottenere i massimi risultati da questa operazione è necessario che si sviluppi in maniera continua e costante. L'andamento e lo stato di vita degli elementi devono essere costantemente monitorati e documentati in maniera tale da poter rendere tracciabile e indagabile a posteriori lo stato di ogni singolo elemento che costituisce l'oggetto del piano di manutenzione.

Trattandosi di una attività che richiede un certo grado di dettaglio e precisione, lo sviluppo dei registri di controllo è un'operazione che richiede molto tempo, per questo è opportuno che vengano avviati sin dal principio e aggiornati contestualmente allo svolgimento degli interventi, in maniera che seguano esattamente in parallelo la vita dell'opera. La costanza in questo tipo di attività è dovuta anche all'abilità della parte di gestione e amministrazione del progetto. Facendo un esempio, se una informazione che riguarda una sezione o un elemento dell'edificio non viene registrata nella documentazione perché si ritiene superfluo che questa venga appunto annotata, questa informazione molto probabilmente si perde e crea un vuoto nel programma di manutenzione compromettendo l'attendibilità del monitoraggio.

Ci sono alcuni punti imprescindibili dei quali è necessario tener conto per strutturare un piano di manutenzione e uno di questi riguarda proprio l'analisi del personale scelto e la sua capacità di portare a termine correttamente la missione per la quale lo si contratta. Gli altri punti riguardano invece: quali aree sono più o meno soggette a degrado, gli elementi di alta media o bassa priorità e fissare gli obiettivi che si vogliono raggiungere.

Più formalmente all'avvio di un piano di manutenzione e monitoraggio è necessario che sia designata la figura di amministratore della manutenzione dell'edificio il quale deve avere una certa esperienza nell'ambito e deve rispettare i requisiti di responsabilità e senso del dovere oltre a quelli di competenza.

Il primo passo per dare inizio alla pianificazione del piano di manutenzione di una struttura è sicuramente sapere qual è la sua destinazione d'uso e approssimativamente il numero e la natura degli elementi di cui la struttura sarà o è composta a seconda che si tratti di un piano preventivo o correttivo. Durante

questa fase della pianificazione risulta fondamentale la raccolta del maggior numero di informazioni di su di essa, dunque è importante avere tra le mani i progetti originari e i progetti aggiornati nel caso in cui siano stati fatti degli interventi e in questo caso piani esplicativi e dettagliati degli interventi eseguiti. Una volta ottenute queste informazioni e dopo la loro attenta analisi è possibile avere un'idea generale di come è fatta la struttura e del suo comportamento durante la vita utile. Solo se si affronta uno studio preliminare di questo tipo sarà possibile capire se vi è presenza di elementi in cattivo stato o che stanno raggiungendo lo stato di deterioramento e in quanto tempo arriveranno ad uno stato limite che ne preclude l'utilizzazione. Per di più si può arrivare a identificarne il motivo per il quale raggiungono uno stato limite.

1.8 Monitoraggio e Manutenzione nel nostro caso studio

Un piano di manutenzione e monitoraggio correttivo e preventivo prevede dei benefici tanto per l'utente dell'opera quanto per l'amministrazione, cerca di minimizzare il danno prematuro delle parti e dei materiali costituenti dell'opera e anche di prevenire che questi danni si verificano anticipandone lo sviluppo.

Il proposito di questo documento è dunque quello di documentare su basi tecniche i procedimenti e gli strumenti per mettere in marcia un piano di manutenzione e monitoraggio di un'opera, nel nostro caso studio i canali adduttori della centrale idroelettrica di Chavonne sita in Valle d'Aosta in concessione al gruppo committente CVA Compagnia Valdostana delle Acque.

Per conseguire il progetto di un piano di monitoraggio e manutenzione è stata necessaria la realizzazione di una attività di *sopralluogo* che ha impegnato il personale della ditta committente del gruppo CVA e il gruppo di lavoro del Politecnico di Torino, che conta del professore Bernardino Chiaia e il professore Giulio Ventura esperti nel campo del monitoraggio e manutenzione delle opere,

e la sottoscritta. A monte di tale attività è stato effettuato uno studio propedeutico per l'inquadramento delle problematiche principali per assicurarsi una base tecnica, grazie al materiale gentilmente fornito dalla ditta committente.

Lo studio che ha anticipato l'attività di revisione in situ ha permesso che l'attività di sopralluogo fosse organizzata e mirata alle problematiche principali dell'opera. Grazie all'analisi previa dei dissesti principali è stata redatta una schematizzazione delle tappe e grazie alla guida del personale esperto del gruppo CVA sono state raggiunte le zone di interesse evidenziate. Successivamente a questa attività sono stati gli studi di analisi a posteriori e ricerca di soluzioni.

Monitoraggio e Manutenzione sono, soprattutto negli ultimi anni, delle tematiche sempre più presenti negli studi di ingegneria. L'innovazione e lo sviluppo della tecnologia hanno dato il via alla produzione di un ventaglio di tecniche sempre nuove e calzanti con le variegata natura e con le diverse forme che un problema di carattere ingegneristico può assumere. La presa di posizione di queste tematiche ha prodotto non solo uno sviluppo delle tecnologie in questo senso ma anche e soprattutto la creazione di nuovi progetti, master e corsi di laurea di notevole interesse decretando così il consolidamento di una branca dell'ingegneria.

CAPITOLO 2

Contesto generale

Il Gruppo CVA conta sul territorio valdostano 32 centrali idroelettriche le quali con le loro dighe, bacini artificiali e canali sono presenti capillarmente nelle vallate della regione. Le centrali e gli altri luoghi di produzione non hanno solamente una funzione di tipo produttivo ma diventano parte integrante del paesaggio valdostano assumendo dunque una valenza paesaggistica e culturale non indifferente per la regione autonoma.

Idroelettrico, fotovoltaico ed eolico sono quindi i campi di azione che l'azienda, holding del Gruppo CVA, ha declinato in questi anni su due assi principali, innovazione e investimento, rafforzando la sua immagine di compagine solida e capace di guardare al futuro, con una particolare attenzione all'ambiente e al territorio.

Nel nostro caso studio ci occuperemo di un segmento della centrale che riguarda il campo idroelettrico, ci concentreremo infatti sulla centrale di Chavonne situata nel comune di Villeneuve ed in particolare dello stato di vita e conservazione dei suoi canali derivatori: *La Nuova*, *Fenille* e il *Collettore*. Come precedentemente commentato infatti al fine di ottenere delle buone performance di funzionamento da parte di una struttura è necessario che ogni singolo segmento lavori rispettando adeguati livelli di sicurezza.



Figura 2.1 Sistema dei canali adduttori, i tre rami evidenziati rappresentano i rami *La Nuova*, *Fenille* e il *Collettore*. I tratti continui rappresentano le sezioni a mezzacosta e i tratti tratteggiati le sezioni in galleria.

2.1 La centrale di Chavonne

La struttura della centrale di Chavonne al contrario di quanto ci si aspetta, è situata a mezza costa anziché essere infossata vicino al fiume. La sua funzione è quella di scaricare le acque turbinate nel canale derivatore dalla centrale di Grand- Eyvia risultando un beneficio per quest'ultima e per l'impianto di Aymavilles.



Figura 2.2 Centrale di Chavonne.

La centrale di Chavonne risulta infatti idraulicamente collegata alle centrali di Chavonne, Champagne 1, Champagne 2, Grand-Eyvia e Aymavilles e fino agli anni '90 alimentavano, attraverso una propria rete elettrica a 50 kV, gli stabilimenti "Cogne" di Aosta, della stessa proprietà.

La tipologia dell'impianto è ad acqua fluente e ha una portata massima derivabile di $8 \text{ m}^3/\text{s}$ che determina una produttività media annuale di circa 140 GWh che interessa un bacino di circa 360 km^2 .

La centrale di Chavonne deriva le acque dalla Grand Eyvia, alle quali si aggiunge il Nomenon e successivamente attraverso una lunga galleria, anche

quelle della vallata laterale del Savara. Le acque dei seguenti fiumi sono convogliate alla centrale attraverso un sistema di canali adduttori ubicato in corrispondenza della dorsale che separa le valli di Cogne e di Savara.

2.2 Il sistema dei canali adduttori

Le opere di presa da cui è alimentato l'impianto in oggetto del caso studio sono tre:

La Nuova, Fenille e un terzo ramo detto *Collettore* che convoglia le acque provenienti dalle due precedenti fino alla centrale. I rami saranno oggetto di analisi e indagini, di seguito una loro breve introduzione:

La presa chiamata "*La Nuova*" è ubicata nel comune di Aymavilles a quota 1298 m.s.l.m. ha uno sviluppo totale di 8142 m i quali si dividono in tratti a pelo libero a mezza costa e tratti in galleria. L'infrastruttura convoglia le acque del torrente Grand'Eyvia che solca la Val di Cogne e di uno dei suoi principali affluenti chiamato Nomenon, il torrente Grand Eyvia risulta essere a sua volta affluente di destra della Dora Baltea.

La presa chiamata "*Fenille*" è ubicata nel comune di Valsavaranche a quota 1289 m.s.l.m. e ha uno sviluppo totale di 4238 m i quali si dividono anch'essi in tratti a pelo libero a mezza costa e tratti in galleria. L'infrastruttura convoglia in questo caso le acque del torrente Savara che solca l'omonima valle Valsavaranche e rappresenta il principale corso d'acqua della vallata.

Il ramo orientale e il ramo occidentale confluiscono verso nord nel terzo ed ultimo tratto del sistema adduttore chiamato "*Collettore*" il quale non riceve acqua da torrenti ma ha il solo compito di convogliare le acque delle due precedenti condotte fino alla centrale dove si conclude il percorso delle acque.

Il “Collettore” trova la sua ubicazione tra i comuni di Villeneuve e Introd ha uno sviluppo totale di 3094 m.

Nell’ultimo tratto del sistema di adduzione è situata la Vasca di carico di Poignon a quota 1251 m.s.l.m. atta a convogliare le acque del sistema.



Figura 2.3 Vasca di Poignon, bacino idroelettrico dove si raccoglie l’acqua dei canali derivatori. Attraverso le condotte forzate l’acqua raggiunge le turbine della centrale idroelettrica.

A partire dalla suddetta vasca, ed in particolare negli ultimi metri del canale Collettore, si possono osservare le condotte forzate, peculiari tubazioni che



Figura 2.4 Condotte forzate mettono in comunicazione il bacino idroelettrico di monte con le turbine della centrale idroelettrica a valle.

mettono in comunicazione il bacino idroelettrico di monte con le turbine all'interno della centrale idroelettrica.

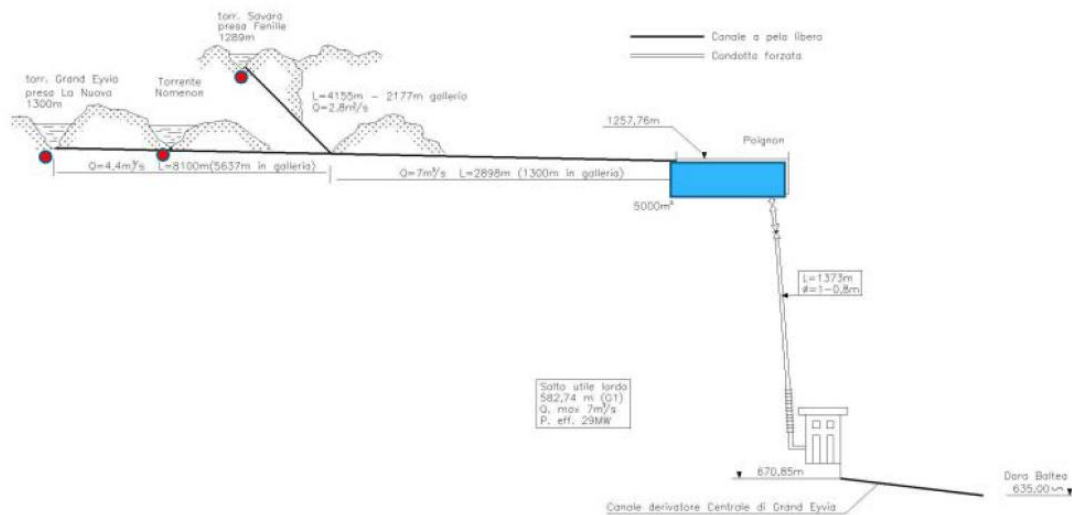


Figura 2.5 Schematizzazione Centrale idroelettrica CVA composta da canali, vasca, condotte forzate e centrale.

Dunque grazie alla successione delle suddette opere di ingegneria idraulica ed infine grazie alla differenza tra l'altezza geodetica della vasca di carico e l'altezza della bocca di alimentazione della turbina si ha l'esplicazione della funzione della centrale idroelettrica.

I canali di adduzione si sviluppano per un percorso totale della lunghezza di 15,47 km con pendenza del fondo variabile dai 3.3 al 7.7 %. Il dato di fondamentale importanza per l'inquadramento del problema è i canali risultano suddivisi in tratti in galleria e tratti a mezza costa e sono caratterizzati da una moltitudine di sezioni. La struttura, dato il suo carattere storico, risulta da un punto di vista strutturale eterogenea e soggetta nel corso degli anni a numerosi rimaneggiamenti.

Da una prima analisi è possibile constatare che i tratti in galleria presentano criticità inferiore rispetto ai tratti a mezza costa poiché sono meno esposti a quelle che chiameremo criticità estrinseche a cui è soggetto il canale.

I *canali in galleria* saranno analizzati solo dal punto di vista delle criticità intrinseche ovvero verranno analizzati quegli elementi come intonaci e murature, facenti parte della morfologia propria del canale che possono trovarsi in uno stato di ammaloramento tale da comprometterne la regolare funzione. Considerata la vita della struttura di fatti si ipotizza uno stato di consolidazione della stessa molto elevato.

I *canali a mezza costa* saranno invece sottoposti ad una analisi più vasta poiché secondo la gerarchia di criticità risultano avere una maggiore importanza a causa della loro esposizione a criticità intrinseche ed estrinseche, dunque problematiche che caratterizzano la morfologia e l'assetto del canale ma anche problematiche di natura geotecnica.



Figura 2.6 Opera di presa vista da valle.

CAPITOLO 3

Contesto idrogeologico

3.1 L'opera nel contesto geo idrologico

3.1.1 Generalità

Il sistema adduttore di Chavonne, come più volte ricordato, è ubicato in corrispondenza della dorsale che separa le valli di Cogne e di Savara. L'area comprende una notevole varietà di ambienti e situazioni geomorfologiche, conseguenti all'azione combinata di diversi fattori geomorfici.

Alcuni di tali fattori sono testimoniati da depositi e forme relitte. Altri, invece, sono legati a processi di dinamica geomorfologica attiva. Si tratta in particolare del modellamento glaciale, l'azione morfologica delle acque superficiali, i processi gravitativi di versante quali frane e valanghe oltre ai fenomeni di alterazione fisico-chimica degli ammassi rocciosi e dei depositi superficiali. Tutto ciò si viene a sovrapporre all'ulteriore elemento costituito dall'assetto litologico e strutturale del substrato roccioso.

3.1.2 Modellamento glaciale

Il modellamento glaciale è il principale agente morfogenetico dell'area, tanto per quanto attiene alla valle principale che alle due delle quali ci stiamo occupando, collocate in destra idrografica della Dora. Il driver principale dell'azione meccanica è dato dai cambiamenti del clima alla scala globale che corrispondono a periodiche fasi di avanzata e ritiro cui si associa l'approfondimento della linea di fondovalle. Le forme tipiche legate all'esarazione glaciale sono riconoscibili nei profili trasversali delle due valli, caratterizzati dalla tipica sezione ad "U" con fondovalle larghi e pianeggianti e da elevatissime pendenze sui versanti. Le fasi di progressione e ritiro sono percepibili osservando serie di gradoni o terrazzi tuttora osservabili. Si tratta di forme originatesi durante diverse fasi di erosione avvenute in concomitanza con il sollevamento del fondovalle per cause tettoniche. Si riscontrano depositi

glaciali, sia ablazione e depositi di fondo (o till). I primi, costituiti dal materiale trasportato sulla superficie del ghiacciaio e abbandonato in fase di ritiro, sono organizzate in forme caratteristiche quali i cordoni morenici o morene, frontali o laterali, mentre i secondi non presentano morfologie particolari.



Figura 3.1.1 Modellamento glaciale in alta Valsavaranche

3.1.3 Idromorfologia

Alle morfologie di origine glaciale si sovrappone l'azione della morfodinamica fluviale dei torrenti Grand-Eyvia e Savara. I versanti delle due valli, caratterizzati da estrema ripidità, sono incisi da una serie di impluvi brevi, non gerarchizzati e con andamento per lo più rettilineo, diretti secondo la massima pendenza. L'idrologia, vista anche la natura dei suoli e del substrato, è determinata dalla distribuzione stagionale delle precipitazioni, massime in primavera e associate agli apporti della fusione nivale. Tra le aste che mostrano carattere di permanenza si fa cenno ai torrenti Tradzo e Nomenon nella valle di Cogne e il Fouy e Maisoncle nella valle del Savara. Tra questi, soltanto il Nomenon interessa il percorso del canale. Il gran numero di impluvi minori, con

bacini imbriferi molto ridotti, presentano caratteri tipicamente effemerici e si attivano in caso di eventi meteorici intensi.

I profili longitudinali di Grand-Eyvia e Savara sono caratterizzati da pendenze relativamente modeste con una tendenza all'erosione. I modesti tributari sono caratterizzati da profili ad elevata pendenza, generalmente incisi, dove prevalgono ovviamente i processi di erosione, spesso facilitati dall'elevata erodibilità dei litotipi presenti e dalla disponibilità di materiale detritico sciolto.

Nel tratto in corrispondenza della confluenza con l'asta principale prevalgono invece i processi di deposizione e accumulo, che danno luogo a conoidi di deposizione che si formano in occasione di sporadici quanto intensi fenomeni di trasporto di massa quali colate di detrito, debris-flow o colate di fango nei bacini con disponibilità di elevate quantità di materiale detrito, proveniente da accumuli di frana o alterazione di ammassi rocciosi.

Il materiale accumulato viene poi nuovamente mobilizzato in occasione di eventi significativi, specialmente se associati alla fusione nivale. I materiali vengono quindi progressivamente abbandonati in corrispondenza della zona di raccordo fra versante e fondovalle seguendo la dinamica temporale della portata in corso d'evento. Il processo di deposizione dei materiali è complesso, in quanto influenzato dalla diversa distribuzione delle velocità e delle frazioni granulometriche all'interno della colata. In genere i materiali più grossolani si arrestano nella parte sommitale e ai lati della colata, dando luogo a coni o lobi rilevati. La frazione più fine si espande in coni di forma più estesa ed appiattita.



Figura 3.1.2 Forme morfologiche del Grand-Eyvia nel tratto di interesse dello studio

L'azione delle acque superficiali non incanalate si manifesta soprattutto come azione erosiva a carico dei depositi superficiali o dei litotipi con scarse caratteristiche meccaniche. I materiali erosi e trasportati dalle acque superficiali, si depongono in aree a debole pendenza o semipianeggianti, sovrapponendosi ai depositi preesistenti e dando luogo a coperture definite colluviali.

3.1.4 Processi gravitativi

La gravità agisce in concomitanza con i processi di alterazione fisico chimica degli ammassi rocciosi e dei depositi superficiali, nonché con le caratteristiche litologiche e strutturali degli stessi. Tra le forme più caratteristiche vanno ricordate le falde e le conoidi detritiche, che si formano, rispettivamente, ai piedi di pareti e affioramenti rocciosi o alla base di canali in roccia. Nei depositi di origine esclusivamente gravitativa si osserva tuttavia una certa classazione granulometrica, con i blocchi di dimensione maggiore che tendono a

raggiungere il piede dell'accumulo e quelli di dimensioni minori concentrati nella parte sommitale. Questo li differenzia anche dai depositi di origine mista detritico-alluvionale, in cui al contrario i blocchi di dimensioni maggiori vengono depositi per primi nella parte sommitale dell'accumulo stesso.

La gravità concorre anche nella formazione delle coperture colluviali, in concomitanza con l'azione di trasporto operata dalle acque non incanalate. Tra i fenomeni gravitativi vanno ricordati i processi di deformazione gravitativi di versante (DGPV) che interessano principalmente la valle di Cogne. In particolare, in corrispondenza di Epinel, è presente in sponda sinistra una importante DGPV, che interessa prevalentemente i litotipi metadioritici del San Bernardo ampiamente descritta in letteratura.

Sul versante nord del Grand Poignon si riscontra la zona della grande frana di Villeneuve , dove la potenza dei depositi di frana è dell'ordine di almeno 30 metri, e viene determinata da un fenomeno di tipo *sink hole* di grande interesse per il quale si rimanda alla letteratura (si può fare riferimento ad esempio a (Alberto, Carraro, Sassone et al,2004). Anche i processi di alterazione degli ammassi rocciosi sono di primaria importanza in quanto costituiscono la causa predisponente della formazione di materiale detritico che viene poi mobilizzato dalla gravità. Si distinguono processi fisici, tra i quali il principale è costituito dal crioclastismo e cioè dall'allargamento delle fratture degli ammassi rocciosi per il succedersi di cicli termici stagionali), e processi chimici, fra i quali segnaliamo la dissoluzione, che avviene a carico di litotipi carbonatici ed evaporitici come carnirole, marmi e gessi. L'azione di tali processi è tanto più accentuata quanto più basse sono le caratteristiche meccaniche dei litotipi e degli ammassi rocciosi. In particolare, i loro effetti sono particolarmente evidenti dove gli affioramenti rocciosi sono intensamente tettonizzati e sono una

causa predisponente a fenomeni franosi che interessano il versante come evidenziato precedentemente.

La morfologia dell'area in esame è determinata anche dai fenomeni valanghivi. La maggior parte degli impluvi corrispondono difatti, nella stagione invernale e primaverile, ad altrettanti bacini di scorrimento di valanga. Si tratta in particolare di valanghe di tipo primaverile che contribuiscono a notevole trasporto di materiali detritici lungo la zona di accumulo.

3.1.5 Cenni alle caratteristiche geologiche

L'area di studio si colloca all'interno della Zona Pennidica delle Alpi Occidentali. Questa unità è caratterizzata da una litostratigrafia complessa, rappresentata da originari litotipi pretriassici, corrispondenti a basamenti cristallini ercinici, e sequenze sedimentarie e vulcano –sedimentarie paleozoiche; entrambi sono intrusi da graniti e granodioriti di età permocarbonifera. Si riscontrano inoltre sequenze sedimentarie e vulcano-sedimentarie di età triassico-cretacea accompagnate da un metamorfismo polifasico di età alpina che coinvolge entrambi i gruppi di litologie appena cennati.

Si riscontrano inoltre deformazioni polifasiche duttili, che accompagnano una tettonica a falde e che produce una caratteristica tettonostratigrafia di unità costituite da basamento pretriassico e da coperture sedimentarie mesozoiche e da deformazioni di tipo fragile. Le unità tettoniche sovrapposte che costituiscono la Zona Pennidica sono da una successione che dal basso verso l'alto a partire da Sud verso Nord e che riguarda la falda del Gran San Bernardo e la Falda dei Calcescisti con Pietre Verdi.

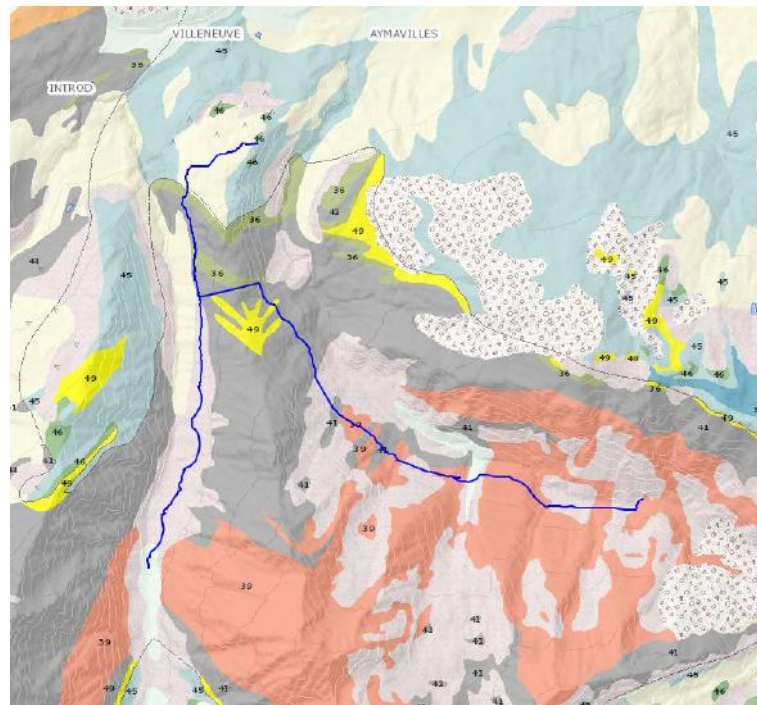


Figura 3.1.2 Inquadramento del sistema adduttore di Chavonne nella Geologia Regionale.

3.1.6 Substrato roccioso

La Falda del Gran San Bernardo è rappresentata da un'associazione di basamento cristallino antico e di metasedimenti più recenti considerati come un'originaria copertura ad affinità brianzonese. All'interno dell'area di studio si osservano quindi gneiss e micascisti, interpretabili come metasedimenti di età pretriassica, metadioriti, costituenti intrusioni di età verosimilmente permiana, e marmi micacei e scisti, rappresentanti lembi di copertura mesozoica.

La Falda dei Calcescisti con Pietre Verdi della Zona Piemontese è rappresentata dai litotipi appartenenti all'unità del Combin, caratterizzata da prevalenti metasedimenti (calcescisti), con associate metabasiti (prasiniti), a metamorfismo mesoalpino in condizioni di scisti verdi, interpretati come

associazioni marine non necessariamente in ambiente ofiolitico (bacini marginali o intracontinentali).

Le sequenze di marmi attribuiti al Trias, affioranti nella zona, sono attribuite sia alla base della Zona del Combin che alla sequenza di coperture brianzonesi della Falda del Gran San Bernardo.

Dal punto di vista strutturale, la caratteristica dominante delle rocce affioranti è di presentare una marcata foliazione metamorfica, associata a deformazioni plicative polifasiche. L'orientazione media della foliazione evidenzia che le rocce presentano una orientazione planare media intorno a valori di 30 gradi di immersione verso 330° nella parte settentrionale, con tendenza a raddrizzarsi su valori fino a 60-70° nella parte meridionale.

La fase plicativa predominante ha prodotto pieghe isoclinali ad asse suborizzontale, dirette a 60 gradi, con piano assiale immergente verso nordovest. Questa fase plicativa è responsabile di gran parte delle pieghe a scala mesoscopica osservabili nella zona, che producono le caratteristiche implicazioni geometriche tra i vari litotipi osservabili.

Ad essa si sovrappongono le deformazioni plicative di Fase 2 che sono responsabili della formazione delle caratteristiche "sinclinali pizzicate" di marmi e carnirole (sequenze del Trias) all'interno degli gneiss e micascisti costituenti la dorsale a Sud del M. Poignon. Alla stessa fase sono associati i piani di sovrascorrimento con simile vergenza e subparalleli alla foliazione, tra cui i principali sono quello allo sbocco della Val Savara e quello immediatamente a Sud del M. Poignon.

La deformazione di fase 2 è verosimilmente responsabile della struttura plicativa regionale a scala kilomtrica, che porta i calcescisti con pietre verdi a N al di sopra dell'Unità del San Bernardo, ed a S al di sotto di essa.

Alle deformazioni plicative della Fase 2 si sovrappongono ancora delle pieghe aperte e asimmetriche (Fase 3) con piano assiale immergente verso Sud di 70-80°, e assi suborizzontali diretti E-W. Tali deformazioni si manifestano come ondulazioni della foliazione di Fase 2 e con la formazione di un crenulation cleavage nei livelli molto ricchi in mica, quali calcescisti filladici o micascisti permiani. La letteratura evidenzia la presenza di una ampia piega di tale fase che ruota in modo graduale la filiazione, a formare una blanda anticlinale nella zona della Val di Cogne.

Le deformazioni per faglia, intese come deformazioni fragili di una certa importanza, posteriori alle foliazioni metamorfiche, non sono rilevanti negli affioramenti disponibili.

3.1.7 Coperture superficiali

Le principali tipologie di coperture superficiali sono in sostanza depositi glaciali indifferenziati, depositi alluvionali recenti ed attuali, depositi alluvionali di carattere fluviale, detrito di falda e depositi detritici indifferenziati, Coperture eluvio-colluviali.

I depositi glaciali presentano sedimenti di varia natura, sia riferibili al ghiacciaio principale balteo, che ai ghiacciai tributari delle Valli di Cogne e Savara). I sedimenti glaciali, generalmente rimaneggiati dalle acque superficiali, sono caratterizzati da un grado di addensamento medio o elevato e da un'associazione di blocchi lapidei sub-arrotondati, di granulometria da decimetrica a metrica con evidente matrice sabbio-limosa. Localmente sono presenti anche trovanti di

dimensioni maggiori, come pure lenti o livelli isolati di materiale prevalentemente limosoargilloso.

I depositi alluvionali interessano sostanzialmente l'area dei due fondivalle di interesse. Sono costituiti da prevalente materiale grossolano, con granulometria variabile dalle sabbie alle ghiaie fino ai ciottoli. I depositi presentano una classazione granulometrica nelle due dimensioni, in conseguenza di diversi episodi di deposizione (eventi di piena) ed alla diversa distribuzione della velocità della corrente all'interno dell'alveo.

I depositi alluvionali torrentizi riguardano le conoidi presenti alla base degli impluvi, che, sebbene siano caratterizzati principalmente da processi legati al deflusso effemerico, vengono rimaneggiati dai processi gravitativi e dalle valanghe che ne modificano la natura e apportano ulteriore detrito.

Si tratta di depositi formati da materiale grossolano, in blocchi di dimensioni decimetriche e talora metriche, immersi in una matrice sabbiosa o sabbio-limosa. In genere i materiali più grossolani si arrestano nella parte sommitale e ai lati della colata, con la granulometria di depositi che decresce dall'apice della conoide verso il piede dove prevalgono depositi sabbio-ghiaiosi espansi.

Il detrito di falda deriva dall'accumulo di materiale proveniente dall'alterazione fisica e chimica degli ammassi rocciosi. Le falde di detrito sono localizzate ai piedi di pareti rocciose, da cui ricevono un'alimentazione più o meno continua, a seconda del grado di stabilità della parete. La principale falda detritica, nell'ambito dell'area di interesse, è localizzata sul versante destro del Torrente Nomenon. Il detrito di falda è costituito da blocchi lapidei a spigoli vivi, di granulometria variabile da decimetrica fino a metrica, in relazione alle condizioni di fratturazione degli ammassi rocciosi.

I depositi detritici indifferenziati sono costituiti da elementi lapidei a spigoli vivi di varia granulometria. A differenza dei precedenti, tali accumuli non si originano solo a seguito di fenomeni gravitativi, ma sono il prodotto della rielaborazione di ulteriori agenti, in particolare delle acque torrentizie e delle valanghe. Essi non si differenziano sostanzialmente dai depositi di falda e sono costituiti da accumuli caotici di blocchi di varia granulometria con scarsa matrice sabbiosa.

Le coperture eluvio-colluviali presentano alcune analogie con i depositi detritici indifferenziati, e sono il prodotto della rielaborazione di preesistenti depositi da parte delle acque superficiali come pure dell'alterazione in posto del substrato roccioso. Il processo di rimaneggiamento vede l'asportazione delle frazioni più fini dai livelli superficiali, ed il loro trasporto ed accumulo verso le zone inferiori. Tali coperture sono in genere costituite da materiale lapideo alterato, con matrice sabbio-limosa in percentuale variabile. Nell'ambito dell'area di studio sono diffuse soprattutto lungo il versante del Poignon.

3.1.8 Cenni alla permeabilità

I depositi glaciali indifferenziati hanno una permeabilità che varia in base alla granulometria del deposito a seconda della prevalenza del materiale grossolano o di matrice limosa-argillosa. I depositi gravitativi, che rappresentano principalmente le falde detritiche ai piedi delle pareti rocciose e gli accumuli di frana, hanno un'elevata permeabilità in quanto possiedono generalmente una struttura con scarsa matrice fine. Per quanto concerne invece la permeabilità dei depositi alluvionali attuali e recenti, questa risulta essere tendenzialmente elevata anche se variabile localmente in base alle vicende locali del deflusso.

La conducibilità idraulica risulta essere elevata per quanto assai variabile localmente. Per quanto riguarda invece il substrato roccioso, la permeabilità

primaria è pressoché nulla mentre può essere rilevante quella secondaria determinata dallo stato di fatturazione e fessurazione.

3.1.9 Generalità sui dissesti osservati

Sull'area interessata dall'infrastruttura e dai versanti sui quali è ubicata, si registra una ampia tipologia di dissesti, in particolare sui tratti del canale non collocati in galleria. Molti di essi sono direttamente e chiaramente osservabili con semplici sopralluoghi. Altri sono derivati dall'inventario nazionale dei fenomeni franosi (IFFI). Altri ancora sono noti al Servizio regionale o osservati direttamente dai tecnici di CVA.

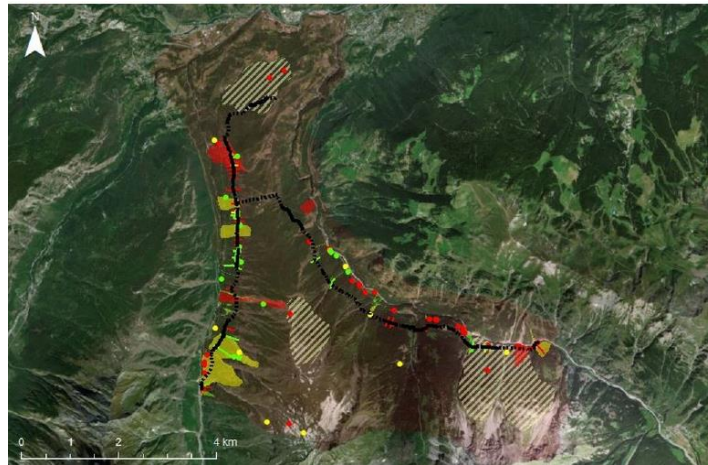


Figura 3.1.4 Mappa dei dissesti.

Si tratta essenzialmente di scivolamenti, fenomeni di crollo e caduta massi, dissesti gravitativi superficiali, colate di detrito. Le carte tematiche fornite dalla Società committente indicano anche fenomeni individuabili da fotointerpretazione, quali deformazioni gravitative profonde di versante.

La localizzazione gentilmente fornita dalla Società committente (e discussa con i tecnici) è riportata nella Figura 46. Dall'immagine si osserva come i diversi dissesti siano riconducibili a specifiche condizioni di carattere litologico e

morfologico. I fenomeni di crollo e caduta massi sono diffusi più o meno lungo l'intero percorso del tratto Fenille, gli ultimi 4.5 chilometri del tratto La Nouva e hanno manifestazioni veramente rilevanti nell'ultimo chilometro e mezzo del collettore. Una parte dei dissesti (debris flow e movimenti corticali) è più o meno direttamente riconducibile a innesco da precipitazioni intense mentre in altri casi (crolli, cadute massi, scivolamenti lenti) il legame con la precipitazione non sussiste o comunque ha caratteri più complessi e meno diretti.

Alcune tipologie di dissesti sono invece correlabili direttamente alla presenza stessa del canale.

Si tratta di un contesto estremamente complesso nel quale l'opera perturba decisamente le condizioni in situ. È quindi problematico (anche se non particolarmente cogente) distinguere esattamente tra i dissesti determinati dal canale e quelli, al contrario, da esso subiti.

3.1.10 Fenomeni di dissesto connessi con la presenza del sistema adduttore

Il gruppo di lavoro ha provveduto a una analisi dei dati disponibili incrociando gli strati informativi gentilmente fornito dalla Società committente, con il Catasto Dissesti della Regione in modo da ottenere una visione il più possibile completa dei fenomeni in qualche modo connessi con il sistema adduttore. La situazione è veramente complessa per cui è ragionevole affermare che il quadro, pur offrendo un sufficiente inquadramento, è verosimilmente non esaustivo.

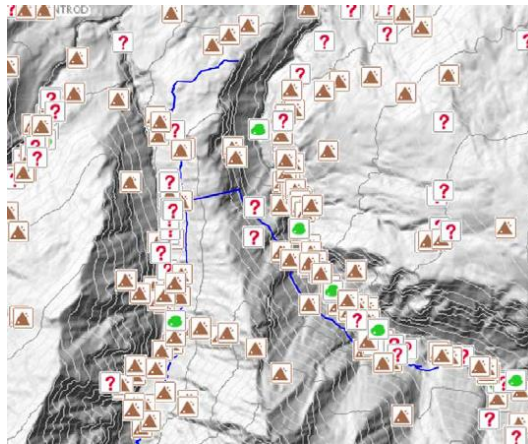


Figura 3.1.5 Quadro dei dissesti verificatisi.

Ne è risultato un insieme di dati che copre il periodo in 52 anni compreso tra il 1965 e il 2017 e che registra 42 dissesti. Per 32 di essi è disponibile la data, per 40 quantomeno l'anno.

Da un punto di vista tipologico si tratta di colate (25), scivolamenti superficiali (11), fenomeni di crollo e caduta massi (5) e cedimenti strutturali del canale (1). L'andamento nel tempo, articolato per quinquenni è riportato nella Figura 48. Si osserva in particolare il picco di ben 18 eventi nel quinquennio dal 1996 al 2000 dei quali 17 sono riferibili all'anno 2000. 13 di essi sono con certezza attribuibili agli eventi della disastrosa alluvione che ha colpito la Regione e tutto il nordovest dal

13 al 16 ottobre. Per 11 eventi è disponibile soltanto l'informazione relativa all'anno mentre altri due sono riferiti a date diverse.

Il grafico sembra indicare un certo incremento della frequenza dei dissesti anche se le capacità di monitoraggio possono essersi di per sé incrementate nel corso del tempo. Nel periodo 2001-2017 si riscontrano difatti 12 fenomeni di dissesto pari in media a 0,7 dissesti all'anno. Dei 42 episodi complessivamente registrati, 18 sono occorsi sul ramo Fenille, 17 su quello la Nouva e 7 sul collettore.

Il Catasto dissesti, tra gli altri campi, ne presenta uno contenente la descrizione qualitativa del fenomeno che, come si può immaginare, si mostra estremamente variegata per qualità livello di dettaglio. Dall'analisi di tali descrizioni si possono trarre alcune considerazioni di indubbio interesse.

Nel caso di 5 dissesti occorsi negli anni 1999, 2004, 2008, 2009 e 2010 la descrizione riporta un chiaro riferimento casuale nelle perdite originatesi dal canale.

3.2 Storiografia dei dissesti

Nel seguito si farà qualche cenno ad alcuni dissesti specifici al fine di comprendere meglio i caratteri della situazione.

Frana a Beligny (Aymavilles) del luglio 1989 (Ramo La Nouva)

Si tratta di una frana superficiale occorsa il 14 luglio 1989 in località Beligny. La descrizione del catasto riporta *“Infiltrazione di acqua fuoriuscita da una finestra d'ispezione del canale denominato La Nouva per la non periodica manutenzione del condotto dalla pulizia di eventuali depositi di materiale melmoso e per il forte fenomeno di erosione idrica all'interno del canale”*

Gli effetti al suolo sono riportati come *“Il movimento franoso ha interessato dei terreni di proprietà privata sviluppandosi per una lunghezza di 300 ml. circa con un fronte di 30 mt. nella zona di accumulo”* e *“Danni alla superficie boscata con sradicamento di una decina di conifere con diametro commerciabile e varie latifoglie, alla superficie agricola invasa da materiale melmoso e altro”*.

Frana a Vieyes (Aymavilles) del 3 maggio 1992 (Ramo La Nouva)

La frana è descritta come *“Scoscendimento e colata di terra che ha interessato rocce cristalline basiche (Prasiniti)”*. Le cause sono ascritte a *“Infiltrazione di*

acqua". A Livello morfometrico la superficie dissestata è di circa 5000 m². Il volume di materiale mobilizzato è pari a 100 m³. La nicchia ha una larghezza di 50 m e la dimensione massima dei blocchi è di 2 m³. Si riscontrano danni *"Alla condotta Enel per una decina di metri; alla strada statale per Cogne chiusa per circa 2 ore"*.

Il dissesto presenta una buona documentazione fotografica con numerose immagini che, tra le altre cose, testimoniano il collasso del muro esterno del canale (Figura 49). Assai interessanti le due fotografie illustrate in Figura 50.

Nell'immagine a sinistra un significativo processo erosivo tipo "rill" è ben visibile al centro della foto. Le acque incanalate parrebbero aver sifonato il piano di fondazione e innescato il dissesto, piuttosto che una fuoriuscita diretta di acqua dalla infrastruttura.



Figura 3.2.1 Frana a Vieyes (Aymavilles) del 3 maggio 1992 (Ramo La Nouva)



Figura 3.2.2 *Frana a Vieyes (Aymavilles) del 3 maggio 1992 (Ramo La Nouva)*

Frana di crollo a La Nouva (Aymavilles) del 2 maggio 1996 (Ramo La Nouva)

Si tratta di un evento per il quale si hanno notizie assai scarse. È descritto come “*frana che ha raggiunto il canale derivatore dell’Enel*” con danni al canale stesso. Sono riportate alcune immagini che mostrano una molteplicità tipologica di fenomeni.

L’immagine di Figura 52 mostra l’evidente cedimento del terreno di riporto del piano viario a servizio del canale. La cordolatura che si nota al piede del muro parrebbe ascrivibile ad un precedente intervento di sistemazione.

La Figura 53 mostra invece l’imponente crollo di lastroni di dimensioni metriche sulla copertura del canale e ai piedi del muro di valle, sul piano viario di servizio.

La Figura 54 è ripresa in adiacenza al muro di valle del canale con la camera puntata verso la ripida scarpata di valle. A destra dell’immagine un precedente consolidamento con il terreno ormai detensionato e in fase di scivolamento.



Figura 3.2.3 Frana di crollo a La Nouva (Aymavilles) del 2 maggio 1996 (Ramo La Nouva)

Frana in località Ronc (Aymavilles) del 2 maggio 1996 (Ramo La Nouva)

La descrizione riportata in catasto è che *“in località Ronc e precisamente nel canalone denominato Entre les Deux, una caduta di massa ha causato la rottura del canale ENEL e la successiva fuoriuscita dell’acqua dallo stesso ha originato una frana che ha ostruito la sede stradale della S.R.47 per Cogne”*.

Si annota inoltre che *“La zona di distacco dei massi è stata individuata a monte della Regionale in direzione del km.13+200 ad una quota di 1600 m. s.l.m.”*. Interessante il fatto che i danni segnalati riportano che *“il canale ENEL è stato asportato per una lunghezza di circa 10 m; parte della rara vegetazione soprastante è stata danneggiata o sradicata, ha subito lievi danni anche la strada regionale”*. L’evento pare dunque avere distrutto il manufatto con trasporto a valle di acqua e detriti.



Figura 3.2.4 Frana di crollo a La Nouva (Aymavilles) del 2 maggio 1996 (Ramo La Nouva)

Frana in loc. Beligny (Aymavilles) del 2-4 aprile 2000 (Ramo La Nouva)

La descrizione dell'evento racconta che “di fianco al torrente Grand Beligny nei giorni compresi tra il 2 e il 4 aprile vi è stato lo scivolamento di una notevole massa di roccia che è precipitata nel canalone di detto torrente fino al pianoro retrostante il paravalanghe Beligny lungo la strada regionale 47 per Cogne.” I danni che si riportano non riguardano il canale ma il sentiero di pertinenza utilizzato per raggiungere lo stesso, infatti viene riportato che “la massa di roccia e terra ha distrutto la presa di carico del ruscello per il sottostante alpeggio del Cordolomy ed ha inoltre interrotto il sentiero per l'alpe Gran Bois (utilizzato anche dai guardacanal dell'ENEL). Il movimento franoso ha inoltre interessato il bosco di pioppi tremuli presenti lungo il torrente sradicando alcuni alberi e danneggiandone altri.”



Figura 3.2.5 Frana in loc. Beligny (Aymavilles) del 2-4 aprile 2000 (Ramo La Nouva)

Frana a monte della loc. Chevrère (Introd) della primavera 2004 (Ramo Fenille)

È una frana di scivolamento a lenta evoluzione rubricata in catasto come “*in località a monte di Chevrère (Introd), a valle del canale Enel, ad una quota di circa 1275 m, è in atto un movimento franoso di discrete dimensioni*” dovuto a “*probabili infiltrazioni d’acqua dovute a perdite canale Enel soprastante*”. Da un punto di vista morfometrico e descrittivo si legge “*con una lunghezza di circa 60 m e larghezza massima di circa 30 m con una superficie di circa 1000 mq. La nicchia di distacco è situata immediatamente a valle del canale Enel e sulle zone laterali si possono notare diverse crepature; alcune piante risultano già essere inclinate verso valle denotando quindi il movimento del terreno in atto*” con “*danni al momento [...] abbastanza limitati, con cedimento di parte del muro di sostegno della strada del canale e lievi danni alla vegetazione*

sottostante, il materiale di rotolamento al momento si è limitato a pochi metri cubi”.



*Figura 3.2.6 Frana a monte della loc. Chevrère (Introd) della primavera 2004 (Ramo Fenille)
Mud Flow in località Chevrère (Introd) del 28 aprile 2009 (Ramo Fenille)*

Si tratta di un “mud flow” attivatosi il 28 aprile 2009 in Chevrère. Il catasto riporta, a livello descrittivo, che “La nicchia di distacco è situata in corrispondenza ad un canale CVA a quota 1270m. La superficie di scorrimento corrisponde ad un impluvio che in condizioni normali è privo di acqua. La colata è passata tra le case dell’abitato causando danni alla strada comunale in due punti in corrispondenza all’incisione. La colata ha raggiunto il torrente Savara” La scheda riporta, come elementi causali, le piogge prolungate e una “probabile perdita canale CVA”. La scheda riporta genericamente la presenza di danni alla strada comunale.

Da un articolo di La Stampa del 1° maggio 2009 si legge la testimonianza del signor Zandrini, residente in località Chevrère la cui abitazione “è rimasta indenne per poco e i detriti si sono ammassati a circa due metri dalla sua entrata”. Si legge la priorità di individuare le cause d’innescio, come afferma il sindaco di Introd. Nel 2009 la frazione era abitata solamente da tre famiglie, il resto del villaggio era in gran parte abbandonato.



Figura 3.2.7 Mud Flow in località Chevrère (Introd) del 28 aprile 2009 (Ramo Fenille)

Frana di colamento in località Chevrère (Introd) del 23 maggio 2010 (Ramo Collettore)

Si tratta di una Frana di colamento staccatasi il 23 maggio 2010. Leggiamo nella descrizione che “*La frana ha interessato un tratto della strada poderale del Ru de Champlong che è stata oggetto di recente sistemazione dovuta ad analogo fenomeno con la realizzazione di varie opere murarie*”. Le cause sono indicate in “*Acque di infiltrazione, Probabili perdite canale a monte*”. A livello morfometrico si tratta di una estensione di 200 m² su un volume stimato di oltre 200 m³. I danni riguardano “*vie di comunicazione, bosco, rete idrica*”.



Figura 3.2.8 Frana di colamento in località Chevrère (Introd) del 23 maggio 2010 (Ramo Collettore)

Cedimento muro in loc. Perreya (Villeneuve) maggio 2013 (Ramo Collettore)

Tra il 18 e il 23 maggio 2013 si è verificato un “cedimento di un tratto del muro di sostegno della pista di servizio del canale CVA Fenille-Champreval. Il crollo ha provocato la caduta del pietrame nel sottostante bosco già interessato in passato dalla caduta di pietre. Il versante in quel tratto è particolarmente ripido. La strada poderale del Rhu de Champlong, posta a circa 200 metri di dislivello più a valle, non è stata interessata dalla caduta dei massi del muro crollato. La maggior parte delle pietre si sono al momento fermate pochi metri sotto la pista. Il crollo ha destabilizzato

la tenuta del muro e della pista che risultano, sui bordi perimetrali, instabili con possibili altri cedimenti. Adiacente alla zona interessata dallo smottamento, si è verificata inoltre la caduta di vari massi che hanno provocato danni ad una rete paramassi installata a protezione del canale CVA.; nonché alla struttura in legno posizionata a protezione della soletta del canale.” Le cause sono da attribuirsi alla grande presenza d’acqua provocata da “piogge prolungate e acque di infiltrazione”.



Figura 3.2.9 Cedimento muro in loc. Perreya (Villeneuve) maggio 2013 (Ramo Collettore)

3.3 La funzione di tenuta idraulica

Occorre osservare che la stessa struttura è reclutata sostanzialmente ad adempiere a due distinti compiti funzionali. Il primo, come avviene per ogni sistema di sostegno delle terre e della eventuale pressione idrostatica retrostante, è la resistenza ai carichi esterni e lo scarico delle azioni della eventuale copertura. La seconda funzione fondamentale riguarda invece la tenuta nei confronti dell'acqua che scorre all'interno del canale. Questo significa, in sostanza, che allo stesso sistema statico costituito da murature ed intonaci che resiste alle sollecitazioni che insistono sull'opera, è affidata anche la funzione di determinare valori di conduttanza idraulica sufficientemente bassi da ridurre la filtrazione a livello tecnicamente nullo con le correnti pressioni in atto. L'osservazione è tutt'altro che banale dato che si tratta di sistemi di carico egualmente critici, ma che cimentano i materiali in maniera sostanzialmente diversa.

Tanto per fornire un agevole riferimento alle dimensioni quantitative del problema, basti dire che la superficie complessivamente bagnata dei soli tratti di canale non collocati in galleria, considerando una profondità media dell'acqua di 1.40 metri, è equivalente a quella di una vasca grande come tre campi da calcio regolamentari, ovvero a quella di 20 piscine olimpioniche.

Considerando la realizzazione in muratura e non in materiali omogenei e performanti come, ad esempio, il cemento armato adeguatamente trattato e rivestito, si comprende che la probabilità di riscontrare perdite o trafileture è, intrinsecamente, estremamente elevata.

Occorre ricordare che qualsiasi materiale da costruzione a base di inerti legati e soggetto a una pressione idrostatica è comunque, invariabilmente, interessato da fenomeni di capillarità o di filtrazione. Nel primo caso il driver è la tensione

superficiale e non comporta trasporto di massa fluida verso l'esterno del mezzo poroso limitandosi a saturarlo in competizione con l'aeriforme presente all'interno. Nell'altro caso il processo è guidato dalla gravità e vede l'effettivo transito di fluido attraverso il materiale. Ambedue le questioni sono insidiose. La prima viene a deteriorare le caratteristiche meccaniche dei giunti di malta, riducendo complessivamente la performance della struttura. La seconda ha l'ovvio effetto di compromettere, in diversa misura, la auspicata funzione di tenuta. Perdite anche minimali, protratte nel tempo, in ragione del persistente stillicidio possono ridurre in maniera anche drammatica la capacità portante dei terreni di fondazione. La filtrazione attacca altresì la resistenza della struttura trasferendo, tanto sui clasti che sui componenti della malta, la resistenza al moto del fluido. Ciò provoca l'attacco della malta per progressivo indebolimento dei legami chimici da parte dell'acqua e il conseguente trascinarsi del materiale più fine verso l'esterno. Ciò provoca l'allargamento i pori e sviluppa processi che tendono ad auto amplificarsi nel tempo con effetti potenzialmente disastrosi. La conduttività idraulica è la caratteristica di un mezzo poroso che determina la portata transitabile in regime stazionario sotto assegnato gradiente di carico piezometrico. In questo senso si tratta generalmente di scale alle quali il materiale possa considerarsi isotropo e omogeneo. La presenza di fratture muta completamente lo schema determinando vie preferenziali per il moto dell'acqua.

La muratura intonacata comporta generalmente livelli di conduttività relativamente bassi che apparentemente paiono ampiamente sicuri. In realtà il problema va attentamente valutato, soprattutto ove manchi un controllo continuo e diretto della struttura teso a segnalarne l'insorgenza di microdissesti.

Osserviamo ancora, in linea generale, che, in ingegneria strutturale si tende generalmente e prioritariamente a separare la funzione statica da quella di tenuta. I tetti piani e le terrazze, ad esempio, sono ordinariamente protetti da guaine bituminose, così come per i serbatoi, le piscine o gli stessi canali si ricorre sempre più anche a resine in grado di intasare i pori o, come si vedrà più avanti, a rivestimenti di tipo polimerico.

CAPITOLO 4

Sintesi dell'attività di rilievo

Il sopralluogo rappresenta la singola o le molteplici attività di visita all'opera per verificarne il suo stato di vita ed individuarne le problematiche. Di fatto tipicamente l'attività di sopralluogo scaturisce dalla necessità di intervento. Durante l'attività di sopralluogo è necessaria da parte della ditta che viene interpellata per la realizzazione dei lavori, realizzare misurazioni e rilievi sui quali poter avanzare un giudizio tecnico. La raccolta del materiale in situ, l'osservazione delle reali condizioni dell'opera e tutto il materiale complementare di tipo informativo fornito dalla ditta committente saranno le basi per dare il via alla creazione di un progetto.

Per affrontare una attività di sopralluogo diventa determinante fornirsi dei dispositivi adatti, dalla strumentazione di misura ai dispositivi di fotocamera digitale per ottenere immagini sulle quali effettuare post analisi e perizie tecniche all'abbigliamento che deve essere funzionale e adatto al contesto.

- Per il seguente sopralluogo è stata utilizzata la *fotocamera digitale del dispositivo smartphone* con risoluzione di 12 megapixel dotata di stabilizzatore. Poiché i sopralluoghi sono necessari per constatare tecnicamente lo stato dell'opera su cui bisogna intervenire e lo stato del contesto circostante, con l'ausilio delle foto scattate in situ è possibile rilevare dettagli e non perdere questo tipo di informazioni.
- Trattandosi di una zona montana e a causa dell'ubicazione delle mete designate in posizioni di quota sensibilmente elevata è stato necessario munirsi di abbigliamento consono, *abbigliamento tipico per attività di trekking*.

Quando si effettua l'attività di sopralluogo in una zona che non si conosce, è necessario effettuare uno studio previo in maniera tale da non incorrere in spiacevoli perdite di tempo. Lo studio planimetrico della zona può essere

eseguito mediante corografie o mappe catastali in maniera tale da avere chiaro l'entità delle pendenze.

- Nel nostro caso sono state utilizzate le *carte tecniche regionali CTR* della regione Valle d'Aosta conseguite dal Geo portale della regione al seguente sito web: <http://geoportale.regione.vda.it/download/ctr/>. Si sono considerate significative per lo studio dell'area:

CTR scala 1:50.000

Tavole n°:

5866

5846

7866

CTR scala 1:25.000

Tavole n°:

6361

6351

7361

7351

L'importante durante queste attività è che non manchi alcun elemento utile al fine del sopralluogo poiché potrebbe rappresentare un disagio per il gruppo impegnato. Può accadere che spesso e come nel nostro caso studio, la meta dell'attività si trovi in una città o regione diversa da quella in cui si è domiciliati e richiede pertanto la necessità di spostamento. La dimenticanza di qualche elemento o affrontare l'attività in una condizione inadeguata e sprovvista di preparazione può causare oltre che una perdita di tempo e denaro per l'impresa anche una perdita di tempo ai danni della ditta committente e soprattutto la necessità che l'attività si ripeta.

4.1 Planning del sopralluogo

La pianificazione dell'attività permette la sua organizzazione e la gestione in tutte le sue sotto parti. La sintesi e la schematicità risultano pertanto strumenti importanti al fine di rendere l'informazione efficace. Il *planning* infatti se effettuato nella maniera corretta e con criterio ovvero mediante selezione delle giuste informazioni diventa uno strumento di comunicazione strategico. Permette di sapere quali sono i punti da raggiungere e quali sono le criticità che caratteristiche di quella zona.

Il lavoro è notevolmente agevolato nel momento in cui la ditta committente si presta a fornire materiale come cartografie sulle quali sono mappate informazioni di vario genere.

Si è pertanto fatto uso delle seguenti carte fornite dal gruppo CVA:

GRUPPO DI TAVOLE A *COLLETTORE*

GRUPPO DI TAVOLE B *FENILLE*

GRUPPO DI TAVOLE C *LA NUOVA*

Ognuno dei precedenti gruppi di tavole contiene i seguenti elementi cartografati:

- 1- Morfologia del canale
- 1- Elementi esposti
- 2- Dissesti
- 3- Pericolosità valanghe
- 4- Dinamiche che coinvolgono il canale
- 5- Elementi morfologici del canale

(Allegato A).

Incrociando le informazioni ricavate dall'interpretazione delle carte e le informazioni filtrate dal materiale cartografico della ditta abbiamo proceduto alla stesura di una serie di tappe suddivise in base alla priorità del danno individuato.

Per ognuno dei tre rami sono stati dunque individuati i punti di maggiore interesse:

- La denominazione dei punti è effettuata con riferimento alla progressiva in metri del canale, si è scelto infatti di mantenere lo stesso sistema di riferimento utilizzato dai gestori del canale in maniera tale da avere corrispondenza tra le progressive presenti in situ e le progressive presenti indicate nel planning delle tappe.
- La suddivisione dei punti è effettuata tenendo conto delle diverse gerarchie di priorità:

PRIORITA' ALTA: punti del canale in cui si sono registrati gravi dissesti o zone a forte rischio. Tale grado di priorità è dettato dalla violenza degli eventi registrati durante la vita in esercizio della struttura e di conseguenza dalla natura del danno apportato: di tipo intrinseco (danneggiamento parziale o rottura sostanziale della struttura tanto da sospenderne il funzionamento) e di tipo estrinseco (danneggiamento recato agli elementi esposti come strade regionali o fabbricati ai piedi del versante).

PRIORITA' MEDIA: punti del canale in cui si sono registrati dissesti di media importanza o zone potenzialmente a rischio.

PRIORITA' BASSA: punti del canale in cui si sono registrate diverse tipologie di dissesto ma successivamente al danno si è intervenuti attraverso opere di

ripristino e rinforzo. Questi punti risultano comunque di interesse per effettuare l'ispezione per due ragioni. La prima ragione riguarda il carattere palliativo delle opere di rafforzamento, dall'analisi della documentazione è emerso infatti che le misure adottate hanno avuto un beneficio temporaneo ma sono risultate inadeguate a risolvere il problema definitivamente. Tenuto conto di ciò si ritiene monitorare anche questi punti in maniera che non rappresentino in seguito un punto di debolezza dell'opera.

La seconda ragione è l'opportunità di osservare la serie dei rimaneggiamenti che il canale ha subito durante la sua vita in esercizio. Attraverso l'ispezione delle opere di ripristino remote e quelle più recenti si è potuto infatti osservare come si è operato nel corso del tempo e quali sono state le evoluzioni nell'affrontare il problema.

Ogni punto individuato mediante la progressiva contiene anche la tipologia di danno, rischio o intervento presente. A titolo d'esempio si riporta parte del planning delle tappe:

B – FENILLE

PRIORITA' ALTA

- **4100 m – 2900 m** ispezione area soggetta a vari tipi di dissesti: colamenti, cadute massi. Particolare attenzione alle seguenti progressive:
 - **3950 m** presenza palificata di rinforzo causa zona fortemente interessata da colamenti;
 - **3650 m** presenza crepe orizzontali sul canale;
 - **3500 m** presenza crepe orizzontali sul canale;

(...)

- **100 m opera** di presa soggetta a caduta massi, eventi alluvionali e valanghivi;
- **1300 m – 1000 m** (attraverso STRADA PODERALE imboccabile alla progr. 900 m) area interessata da frane di scivolamento e fenomeni valanghivi. Particolare interesse alle seguenti progressive:
 - 1200 m, 1000 m corrispondenza fabbricati.

Ed infine l'attività di planning conta di una ricerca effettuata al fine di individuare le zone di accesso ai punti di interesse. Consultano il geoportale della Valle d'Aosta ed in particolare la sezione del catasto dei sentieri al seguente sito web: <http://catastosentieri.partout.it/pub/geosentieri/index.html>. Tuttavia questa operazione non ha riscontrato la sua utilità in quanto il personale esperto che ha scortato l'attività era ovviamente a disposizione delle informazioni necessarie per il raggiungimento delle zone di registrata criticità. Si può pensare comunque ad un riscontro di una futura utilità nel momento in cui il gruppo di lavoro del Politecnico di Torino decida di effettuare autonomamente delle secondarie ispezioni in situ per approfondimento delle indagini o ricerca e recupero di materiale che si riterrà necessario per l'avanzamento del caso studio.

Si è prevista come durata del sopralluogo l'arco temporale di una giornata lavorativa, tenendo in conto le tempistiche per il raggiungimento dell'opera dalla sede del Politecnico di Torino Corso Duce degli Abruzzi TO, alla sede della centrale della Compagnia Valdostana delle Acque - CVA S.p.A presso Châtillon, l'incontro con il personale esperto e la marcia verso i punti di interesse.

CAPITOLO 5

Presentazione e analisi del problema

Il sopralluogo avvenuto in data 18 Luglio 2019 dal grupp+60 di lavoro del Politecnico di Torino con la committenza del progetto, il gruppo CVA della regione Valle D'Aosta, è stato effettuato presso il sistema dei canali adduttori della centrale idroelettrica di Chavonne.

Nonostante i canali si trovino ad una altitudine piuttosto elevata l'ispezione della zona è resa possibile dalla presenza di un sentiero pedonabile che costeggia l'opera. La presenza di questo sentiero è probabilmente da attribuire alla maestranza che ha provveduto alla costruzione dei canali poiché lungo il percorso è possibile osservare la presenza di binari la cui utilità era quella di trasportare carrelli con all'interno il materiale da costruzione.

Il fine del sopralluogo è stato l'analisi dello stato dell'opera e valutazione dei rischi alla quale la struttura del caso studio è esposta. L'attività di sopralluogo è stata utile anche alla raccolta di materiale fotografico utile ad una post-analisi di natura più dettagliata e alla raccolta di informazioni gentilmente condivise dal personale tecnico che ha scortato l'operazione.

Di seguito è riportata una schematizzazione dei rami che rappresentano i canali derivatori, per semplicità e immediatezza di comunicazione da qui in avanti si contraddistinguono con le lettere A, B, C rispettivamente *Collettore, Fenille e La Nuova*.

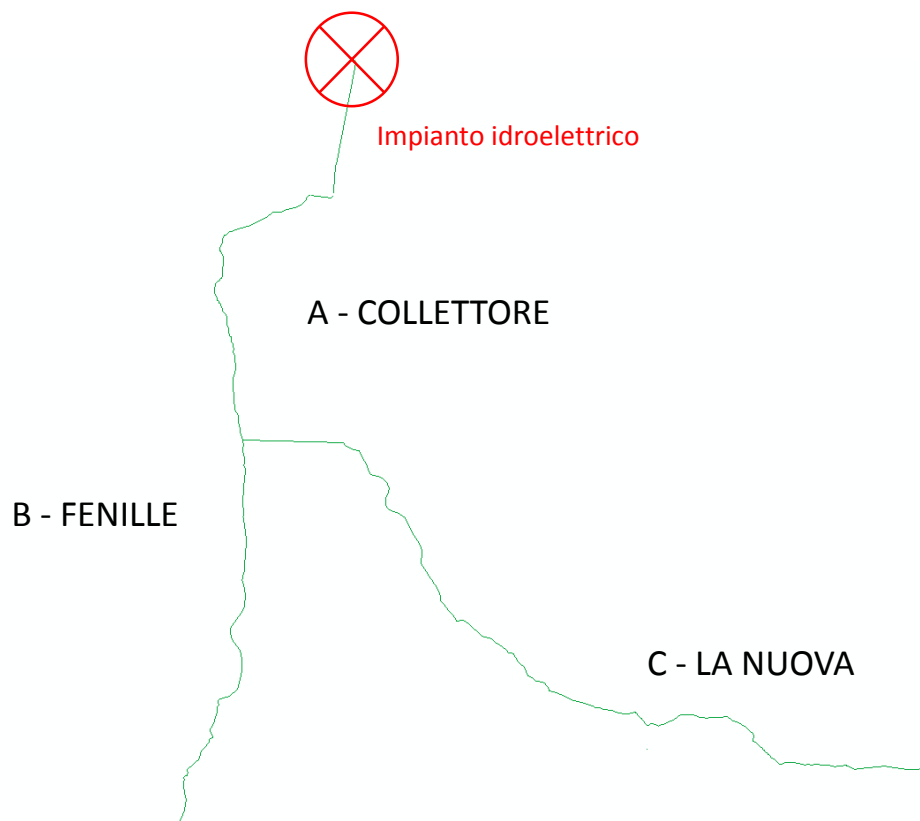


Figura 5.1 Schematizzazione dei rami che rappresentano i canali derivatori. Denomineranno rispettivamente con le lettere A. Collettore, B. Fenille, C. La Nuova, per semplicità e immediatezza di comunicazione.

5.1 A – COLLETTORE

Il “Collettore” trova la sua ubicazione tra i comuni di Villeneuve e Introd, ha uno sviluppo totale di 3094 m e rappresenta il ramo di collegamento tra i due canali Fenille e La Nuova con la centrale idroelettrica. Come già analizzato nel contesto generale questo tratto di canale non riceve acqua dai torrenti, ma ha la peculiare funzione di trasportare le acque captate dai due precedenti canali alla centrale idroelettrica. Il Collettore si compone di 1592 m a mezza costa e 1502 m in galleria, per un totale di appunto 3094 m. A causa della sua ubicazione risulta il solo dei tre tratti a non rappresentare un rischio per gli elementi esposti poiché dall’analisi cartografica non si trovano corrispondenze con fabbricati o centri abitati, ad esclusione della cittadina di Champlong-Dessus che risulta però ad una quota assai più bassa del tratto di canale in questione e si ritiene pertanto non esposta a rischio. Al contrario per quanto riguarda lo stato generale del canale e i rischi a cui è esposto rappresenta il tratto con maggiori criticità sia di tipo estrinseco: la zona è interessata da frane da crollo e da una intensità attività di caduta massi, sia di tipo intrinseco poiché presenta diversi punti di debolezza alla muratura durante tutto il suo sviluppo.



Tratti	Galleria	Mezza costa	Lunghezza tot
COLLETTORE	1502 m	1592 m	3094 m

Figura 5.1.1 Ramo A. Collettore

Al seguito è svolta un'analisi di tipo puntuale con individuazione e commento delle diverse **criticità del canale** e **criticità del versante** precedentemente individuate su cartografia dal gruppo di lavoro e con successivamente riscontrate durante l'attività di sopralluogo, il tutto supportato da un parallelo percorso fotografico.

Il punto dal quale è stata avviata l'attività di ispezione risulta essere a qualche centinaia di metri dalla vasca di carico di Poignon dunque esattamente al termine di quello che è l'effettivo percorso compiuto dalle acque dei canali adduttori.

Sin dai primi metri percorsi è stato possibile identificare il contesto geomorfologico all'interno del quale si innesta il primo dei tre segmenti del canale. Risulta evidente infatti che il profilo del versante, ed in particolare la zona superiore all'altezza del canale, è caratterizzata da elevata acclività. Questa prima caratteristica individuata nei primi tratti si riscontrerà pressoché omogenea durante tutto lo sviluppo.



Figura 5.1.2 Primi tratti del Collettore. Si evidenzia il profilo del versante particolarmente aspro e scosceso; privo elementi di vegetazione che possano rappresentare un meccanismo naturale di ritenuta di frane e caduta massi.

Si deduce pertanto che essendo la zona di ubicazione del canale Collettore caratterizzata da una intensa attività di caduta massi, la natura di questi eventi risulti di carattere repentino e violento accompagnati da colamenti rapidi. La particolare morfologia del versante infatti non permette a ciottoli e massi che subiscono il distacco dalla parete principale di perdere energia durante la caduta, essendo questa molto ripida. Sebbene si osservino barriere paramassi dislocate lungo il canale, queste sono posizionate nelle zone di accertato rischio e non coprono interamente la sicurezza del canale. Tuttavia da una analisi di eventi di basso e medio rischio verificatisi nel passato si è constatato che la struttura risponde in maniera sufficientemente positiva. La robustezza che manifesta il canale nei confronti di ciottoli e ammassi detritici grossolani è dovuta principalmente al suo sistema di copertura.

Le sezioni a mezza costa presentano due coperture peculiari:

- Copertura con tronchi:

Figura 5.1.3 Sistema di copertura con tronchi.



Il legno infatti grazie alle sue ottime caratteristiche meccaniche è capace di assorbire impatti e sollecitazioni importanti, non a caso è il materiale principe

scelto per le costruzioni antisismiche. La sua struttura organizzata in fibre gli conferisce delle proprietà naturalmente elastiche in grado di assorbire facilmente le deformazioni. Le strutture in legno non sono mai monolitiche ma formate da più elementi interconnessi tra loro. Queste strutture se ben progettate, come nel caso indicato in figura, lavorano in maniera efficiente per incrementare ulteriormente la dissipazione di energia.

- Copertura con travetti:



Figura 5.1.4 Sistema di copertura con travetti.

I travetti in cemento sono in semplice appoggio sui ritti di muratura, è stato ritenuto opportuno non vincolare questi alla struttura in previsione di sostituzione o manutenzione. Come è evidente nell'immagine anche nel caso della copertura eseguita con travetti si hanno delle performance strutturali discretamente buone. Immaginando che nell'esempio mostrato, il sasso possedesse una determinata energia al momento della caduta, non risultano comunque segni di lesione sull'apparato di copertura. Costeggiando il canale si è osservato per di più che in alcuni eventi di caduta di ciottoli, questi siano stati

rimbalzati dalla struttura lasciandola illesa. Si precisa tuttavia che l'inserzione dei travetti è una scelta relativamente recente poiché la struttura originaria consta di lastre in muratura anch'esse in semplice appoggio sui ritti. In generale dal punto di vista del funzionamento strutturale l'opera non sembra necessitare grandi interventi, al contrario dal punto di vista del deterioramento causato dal suo contesto naturale richiederà opere di protezione e rafforzamento.

Non sono mancati tuttavia i casi di riparazione e rifacimento di soletta o muri di sostegno a seguito di eventi particolarmente importanti.

Nei casi più gravi la grandezza degli elementi di distacco supera il metro. Dall'analisi visiva dei blocchi essi presentano spigoli vivi molto pronunciati e facciate piane che fanno presupporre una rottura di tipo fragile in seguito a formazione di piani di taglio. La pericolosità di questi fenomeni è dovuta non solo alla grandezza che i massi possono raggiungere ma soprattutto al carattere repentino con il quale si verificano. Un crollo di tipo fragile avviene senza preavviso e nella maggior parte dei casi si formano superfici di rottura difficili da individuare nelle rocce poiché non appaiono in maniera evidente come uno sgretolamento o una superficie frastagliata, al contrario si forma una crepa che tende a crescere fino a portare al distacco.

A - COLLETTORE

Progressiva: 1100 m – 800 m



Problematica rilevata: Fenomeno caduta massi

Oggetto: Canale

Tra le dinamiche cartografate che interessano il canale: valanghe, caduta massi, debris flow e frane superficiali, il tratto del collettore è sicuramente interessato per la maggior parte da dissesti di tipo: caduta massi e colamenti rapidi.

Considerando il contesto geomorfologico all'interno del quale si innesta l'opera, la ripidità e le pendenze delle pareti, la probabilità che si verifichino fenomeni di distacchi di ammassi rocciosi è sempre molto alta. La probabilità del danno è aumentata dal livello della posizione dell'opera, il tratto del Collettore infatti durante tutto il suo sviluppo è fortemente esposto alle possibili dinamiche del versante, ad esempio in alcune progressive si osservano pareti che finiscono a strapiombo sull'opera.

A - COLLETTORE

Progressiva: 700 m



Problematica rilevata: Fenomeno fessure orizzontali

Dall'ispezione è risultata molto frequente la vista di crepe e fessurazioni dell'intonaco disposte in maniera orizzontale.

È stato riscontrato che si hanno due configurazioni tipiche delle fessure:

- parte superiore della muratura, in corrispondenza dell'attaccatura della soletta con l'elemento portante verticale;
- parte inferiore, in corrispondenza del piede dell'elemento portante verticale;

trattandosi di due posizioni significative si ipotizza che la matrice che ne determina la formazione sia differente per entrambi i casi. Per questo motivo si è eseguita un'analisi differente

A - COLLETTORE

Progressiva: 400 m - 300 m



Problematica rilevata: Muro spanciato

Oggetto: zona sottostante al canale

Muro in pietrame sottostante al livello del canale e al sentiero che lo costeggia.

Lo spanciamento del muro è riconoscibile dalla sua fuoriuscita dall'asse verticale causata dalle spinte a monte a cui è sottoposto.

Trovandosi infatti al di sotto del canale ed avendo una conformazione tale che ci siano ben due pianerottoli sui quali possono accumularsi i carichi variabili: Deve sopportare le seguenti sollecitazioni:

- spinta attiva del terreno e delle pressioni idrostatiche;
- stagionalmente carico variabile neve;

Tuttavia lo spanciamento fa presupporre che la stabilità delle fondazioni del muro è in generale sufficientemente buona, altrimenti si sarebbero registrati moti rigidi della parete come fenomeni di ribaltamento o rotazione al piede. Al contrario le spinte che il muro ha ricevuto hanno intaccato il punto di debolezza della parete ovvero la parte centrale in pietrame.

A - COLLETTORE

Progressiva: 100 m



Problematica rilevata: Pareti scoscese

Oggetto: Versante

Terminando l'ispezione del primo dei tre segmenti che costituiscono il sistema dei canali adduttori, si evidenzia ancora il profilo aspro del versante e la ripidità delle sue pareti. Il contesto in cui si innesta questo tratto dell'opera resta pressoché costante durante tutto lo sviluppo del ramo Collettore.

Nei casi più gravi la grandezza degli elementi di distacco supera il metro. Dall'analisi visiva dei blocchi essi presentano spigoli vivi molto pronunciati e facciate piane che fanno presupporre una rottura di tipo fragile in seguito a formazione di piani di taglio. La pericolosità di questi fenomeni è dovuta non solo alla grandezza che i massi possono raggiungere ma soprattutto al carattere repentino con il quale si verificano. Un crollo di tipo fragile avviene senza preavviso e nella maggior parte dei casi si formano superfici di rottura difficili da individuare nelle rocce poiché non appaiono in maniera evidente come uno sgretolamento o una superficie frastagliata, al contrario si forma una crepa che tende a crescere fino a portare al distacco.

A - COLLETTORE

Progressiva: 100 m – 0 m



Problematica rilevata: Fessurazioni su intonaco recente

Oggetto: Canale

Secondo i dati cartografati le operazioni di demolizione e rifacimento dell'intonaco riguardano la maggior parte dell'estensione del Collettore e in alcuni casi è stata necessaria la loro replica.

Nei più recenti interventi datati 2013 sono state utilizzate inoltre tecnologie innovative in questo ambito, come rivestimenti con reti elettrosaldate o fibre

polimeriche.

Come si può osservare dalle immagini però, nonostante le operazioni di manutenzione e nonostante le misure di innovazione adottate, a distanza di poco tempo continuano a ripresentarsi crepe e fessurazioni sulle pareti. A questo punto è intuitivo pensare che i fenomeni di fessurazione non sono di natura ordinaria, a causa del loro continuo ripetersi anche a distanza di tempo dalla costruzione originaria della struttura (avvenuta approssimativamente un secolo addietro). È evidente che il ripresentarsi di questi fenomeni sulla copertura è un messaggio di sofferenza della struttura dal punto di vista interno.

Come è stato evidenziato dal personale esperto e dal gruppo di lavoro, sfortunatamente la presenza della copertura ha impedito l'osservazione diretta delle cause che minacciano la struttura. Avendo questa una funzione puramente estetica di copertura alla struttura muraria portante e dunque non strutturale, non è possibile constatare con certezza quale sia la natura e l'entità del danno dalla sua semplice osservazione. Sono state pertanto avanzate alcune ipotesi derivate dall'esperienza sulla base delle quali saranno scelte le tipologie di indagini da effettuare sulla muratura, il cui esito ne confermerà o meno l'esattezza.

5.1.1 DIAGNOSI CRITICITA' DEL COLLETTORE

Caduta massi e frane da crollo

Al seguito di una interpretazione cartografica e delle ispezioni eseguite in situ si può affermare che la problematica principale che minaccia il ramo Collettore è rappresentata dai fenomeni di distacco di clasti dalla parete del versante, e il loro conseguente impatto sul canale.

Durante il trascorso della struttura si contano numerosi eventi di questa natura, talvolta di dimensioni relativamente catastrofiche per il canale. In alcuni casi il danno è stato mitigato dalla presenza di barriere paramassi. Tuttavia si tratta di interventi di difesa pressoché puntuali, situati nelle zone di accertato rischio, e per questo motivo la sicurezza della struttura lungo tutto il suo sviluppo non è pienamente garantita. Pertanto in alcuni casi si sono verificati eventi di danneggiamento del canale molto seri da richiedere interventi di manutenzione straordinaria.

L'ordine di grandezza degli elementi di distacco è mediamente compresa in un range che va dalla decina di centimetri al metro, sebbene si siano registrati casi in cui questi valori siano stati abbondantemente superati, si tratta comunque di circostanze rare.

Il tempo di ritorno che intervalla i fenomeni è molto basso, questi sono ripetuti e di natura catastrofica a causa del loro carattere repentino. Gli eventi di distacco di clasti infatti a causa della loro natura, non sono accompagnati da episodi premonitori che possano aiutarne la prevenzione. Al contrario si tratta di fenomeni del tutto aleatori che possono verificarsi improvvisamente in qualsiasi punto del versante. Dall'ispezione è emerso anche che dalla quota del canale in

su, a causa della elevata acclività della parete, la presenza di vegetazione e di arbusti è del tutto esigua. Questi elementi possono infatti in alcuni casi rappresentare delle barriere naturali e agire in maniera da dissipare l'energia che l'elemento di distacco accumula durante la caduta. Essendo il canale pertanto totalmente esposto e trovandosi in corrispondenza delle possibili traiettorie degli elementi, deve farsi carico di tutta l'energia accumulata nel moto e di quella di impatto.

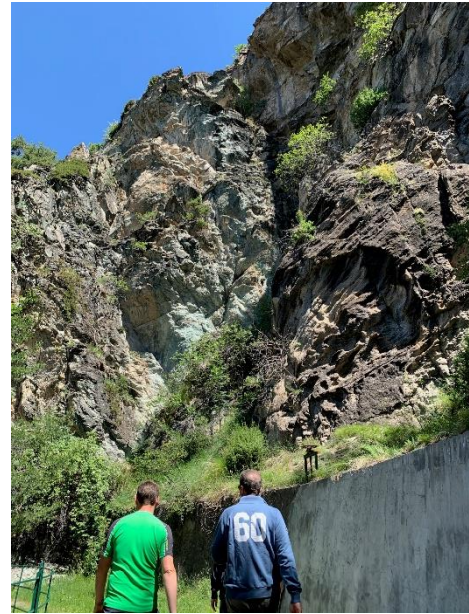


Figura 5.1.1.1 Ramo Collettore.

Come si può notare nell'immagine, è ritratto in maniera abbastanza rappresentativa il contesto geomorfologico nel quale si innesta il tratto di canale del Collettore, i profili sono aspri e le pendenze elevate. In alcuni casi è possibile riconoscere piani di scistosità paralleli, i quali rappresentano una via preferenziale per l'innesto della crepa che, nei casi estremi, cresce a tal punto da determinare la separazione del concio roccioso dalla parete.

Al trattarsi di un ambiente montano inoltre, caratterizzato dalla ciclicità di geli e disgeli, la crepa si trova in una condizione di accrescimento agevolato. Il succedersi di periodi in cui l'acqua può permeare all'interno delle fratture della roccia con periodi in cui la medesima acqua permeata, ghiaccia al suo interno aumentando quindi di volume, determina l'aumento della velocità con la quale questi fenomeni si verificano, aumentandone conseguentemente la frequenza.

Si può pertanto immaginare che anche un elemento di distacco di dimensioni discrete in questo scenario, può determinare conseguenze relativamente

catastrofiche nel caso in cui interessi il canale. Di seguito a titolo esemplificativo è riportato una dimostrazione di calcolo, per avere chiaro l'ordine delle grandezze che entrano in gioco:

Si prenda in considerazione un elemento roccioso di medie dimensioni che può interessare le dinamiche del versante della massa corrispondente a 10 kg.

Il corpo in caduta libera segue le leggi del moto uniformemente accelerato:

$$\text{velocità } v = gt$$

$$\text{spostamento } s = \frac{gt^2}{2}$$

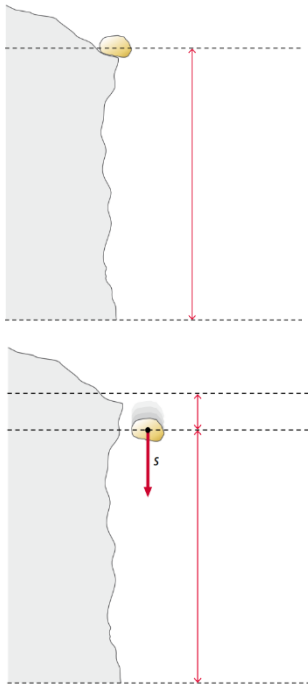
E le formulazioni per il calcolo dell'energia sono le seguenti:

$$\text{ENERGIA POTENZIALE } E_p = mgh$$

$$\text{ENERGIA CINETICA } E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

L'energia totale posseduta dal masso risulta sempre la somma delle due

$$\text{ENERGIA SASSO } E = E_p + E_c$$



Si calcoleranno le relative Energie Potenziale e Cinetica in tre diverse situazioni, nel momento in cui il sasso è in posizione di quiete e dunque la situazione in cui gli corrisponde il massimo dell'energia potenziale, un successivo momento arbitrario in cui il sasso è in caduta libera e si considera infine la situazione di impatto dunque il momento in cui gli corrisponde il massimo dell'energia cinetica. Ai fini del calcolo si considereranno un istante iniziale $t = 0$ s, l'istante intermedio arbitrario di caduta libera $t = 5$ s, e l'istante finale.

$t = 0$ Sasso in stato di quiete

Lo spostamento vale $s = g \frac{t^2}{2} = 0$, poiché nell'istante iniziale preso in considerazione il sasso è nella posizione di quiete, ovvero l'istante immediatamente precedente a quello di prima della caduta libera.

L'altezza alla quale si trova il sasso è arbitrariamente considerata $h = 500$ m.

E come ovvia conseguenza la velocità con la quale si muove il sasso nella prima situazione considerata è nulla, trovandosi questo in uno stato di quiete.

- ENERGIA POTENZIALE

$$E_p = mgh = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 500 \text{ m} = 49'000 \text{ J} = 49 \text{ kJ}$$

Presenta in questo caso il valore massimo.

- ENERGIA CINETICA

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0$$

Ovviamente nulla poiché il sasso è in condizione di quiete.

ENERGIA TOTALE $E = 49 \text{ kJ}$.

In questa situazione si immagina un evento di distacco repentino del masso e l'inizio del fenomeno di caduta libera.

$t = 5\text{s}$ Sasso in caduta libera

Lo spostamento vale $s = g \frac{t^2}{2} = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{5^2}{2} \text{s}^2 = 122,5 \text{ m}$, ovvero trascorsi 5 secondi dal fenomeno di distacco il sasso dalla quota 500 m perde circa 100 m di quota, raggiungendo dunque l'altezza $h = 500 \text{ m} - 122,5 \text{ m} = 377,5 \text{ m}$.

La velocità con la quale il sasso si sposta aumenta all'aumentare del periodo di tempo trascorso dal fenomeno di distacco, e nel caso preso in considerazione ovvero all'istante 5 secondi la velocità vale $v = gt = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\text{s} = 49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

È possibile pertanto calcolare:

- ENERGIA POTENZIALE

$$E_p = mgh = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 377,5 \text{ m} = 36'995 \text{ J} \approx 37 \text{ kJ}.$$

Come previsto presenta una diminuzione rispetto al valore massimo nella posizione di quiete.

- ENERGIA CINETICA

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 49^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 12'005 \text{ J} = 12 \text{ kJ}.$$

ENERGIA TOTALE $E = 37 \text{ kJ} + 12 \text{ kJ} = 49 \text{ kJ}$

t Sasso al momento dell'impatto

Eseguendo il calcolo in maniera iterativa, scegliendo intervalli di tempo sufficientemente piccoli, è possibile trovare il momento t di fine, in cui lo spostamento del sasso compie i 500 m e dunque, quando il sasso possiede una altezza $h = 0$, situazione corrispondente all'impatto.

Eseguendo l'operazione con l'ausilio di un semplice foglio di calcolo Excel si ricava che all'istante $t = 10.11 \text{ s}$ il sasso percorre:

$$s = g \frac{t^2}{2} = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{10.11^2}{2} \text{s}^2 = 500 \text{ m}$$

$$h = 500 \text{ m} - 500 \text{ m} = 0.$$

Dunque si ricava il momento esatto dell'impatto. Grazie a questo dato è possibile proseguire nel calcolo della velocità con la quale impatta:

$$v = gt = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10.11 \text{s} = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Si ricavano infine le relative energia:

- ENERGIA POTENZIALE

$$E_p = mgh = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0 = 0. \text{ (Ovviamente nulla)}$$

- ENERGIA CINETICA

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ kg} \cdot 100^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 25'000 \text{ J} = 25 \text{ kJ}.$$

Nonché il nostro dato di interesse.

$$\text{ENERGIA TOTALE } E = 49 \text{ kJ}.$$

Nonostante l'energia del sasso resti costante poiché appunto somma di potenziale e cinetica, c'è però una grossa differenza. Mentre all'istante iniziale l'energia è tutta immagazzinata dal sasso in stato di quiete, al momento finale

invece l'energia ovvero i 49 kJ , sono interamente spesi nell'azione dell'impatto.

Per avere un'idea della quantità di energia che entra in gioco al momento di un urto di un elemento di medie dimensioni che interessa il caso in questione, basti pensare che un Kilo joule equivale al lavoro necessario per alzare di un metro da terra un oggetto del peso di 100 kg. Alla luce di questo, seppur semplice, paragone è possibile riconoscere che l'energia di impatto calcolata risulta essere una quantità significativa.

Fessurazioni

Come è stato anticipato nella sintesi dell'attività di sopralluogo il fenomeno della fessurazione è molto diffuso nell'edilizia quando si ha a che fare con strutture in calcestruzzo armato o come in questo caso in muratura. Questo è dovuto all'impiego di materiali molto performanti nei confronti degli sforzi di compressione ma non a quelli di trazione pertanto sono sufficienti sollecitazioni molto basse per fare nascere fessurazioni locali.

Tuttavia è necessario distinguere quali di queste fessurazioni risultano:

- Ordinarie, dovute ad assestamenti della struttura, che tipicamente si formano nei primi periodi di vita dell'opera e tendono a rimanere stabili ovvero non si espandono in maniera significativa. Se le fessure in questione rimangono all'interno di un certo ordine di grandezza, non rappresentano un problema poiché se ne tiene conto anche al momento del calcolo e progetto.

ES: fessure da ritiro e viscosità dei materiale.

- Non ordinarie, ovvero fessure che una volta originatesi tendono a crescere e nei casi più gravi sono preavviso di crisi del materiale o dell'elemento strutturale.

ES: fessure per cedimento delle fondazioni.

Nel nostro caso trattiamo separatamente le fessure che sono collocate nella parte alta del muro e quelle nella parte bassa poiché si riteniamo che abbiano una matrice completamente differente e un percorso di formazione altrettanto distinto.

Fessure superiori

La nascita di queste fessure si ipotizza essere di matrice puramente strutturale e dunque riconducibile a:

- a) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per effetto delle spinte del terreno;
- b) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per effetto di pressioni idrostatiche di falda;
- c) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per assenza o indebolimento del vincolo;
- d) Espansione di parti interne;
- e) Assorbimento di umidità;

Le sezioni a mezzacosta del canale, per la loro ubicazione, sono sottoposte alle spinte attive di natura geostatica (spinte del terreno) e di natura idrostatica (pressioni di falda) e stagionalmente anche al carico neve, con inclinazione della spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche del terreno ovvero dal suo angolo di resistenza al taglio. Queste spinte vengono assorbite dalla struttura mediante spostamenti relativi tra i lastroni in muratura che

determinano così il nascere della serie di fessurazioni orizzontali nella zona superiore dell'opera.

Poiché l'altezza piezometrica delle acque nel canale si mantiene ad una altezza media di 1,50 metri dal fondo si esclude l'ipotesi di dipendenza dal fattore idraulico.

Fessure inferiori

Le fessure che si originano al piede al contrario delle precedenti sono fortemente interconnesse con fenomeni di capillarità e infiltrazione. Si identifica dunque una matrice idraulica e strutturale. La nascita è dovuta a:

- a) Azione della pressione idrostatica (massima al piede);
- b) Fenomeni di infiltrazione negativa: dall'interno → l'esterno, ovvero le perdite del canale.
- c) Fenomeni di infiltrazione positiva: dall'esterno → l'interno;

Come già anticipato l'altezza piezometrica delle acque all'interno del canale si registra mediamente ad un livello di 1,50 m perciò si ritiene il fattore idraulico il principale innesco.

La presenza d'acqua non provoca danni strutturali ma ne minaccia la sua stabilità e indebolisce la resistenza dei materiali che la costituiscono. Se il canale non risulta adeguatamente impermeabilizzato:

- all'*interno* è esposto all'azione erosiva dell'acqua e al rischio che questa crei delle strade preferenziali che deviano il percorso dell'acqua da quello imposto.

- dall'*esterno* è esposto al rischio che acqua piovana, di falda o l'acqua che si forma successivamente allo scioglimento delle nevi penetri al piede dei ritti.

In entrambi casi c'è il rischio di indebolimento del terreno di fondazione e che successivamente si inneschi un movimento di moto rigido: *rotazione al piede e ribaltamento o cedimenti differenziali della struttura.*

5.2 B – FENILLE

La presa chiamata “Fenille” è ubicata nel comune di Valsavaranche a quota 1289 m.s.l.m. e ha uno sviluppo totale di 4238 m i quali si dividono anch’essi nelle due configurazioni tipiche del sistema dei canali adduttori, e dunque 2133 m in galleria mentre i rimanenti 2105 m a mezza costa. L’infrastruttura in questione, ha il compito di convogliare e trasportare le acque del torrente Savara che solca l’omonima valle Valsavaranche e rappresenta il principale corso d’acqua della vallata. Nel caso del ramo Fenille si ha la corrispondenza a valle con il centro abitato Chevrère e con la strada regionale per un tratto della lunghezza di circa 600 m, a proposito dei quali, nella diagnosi delle criticità si valuteranno le reali distanze e dislivelli per quantificare il rischio a cui sono esposte. Invece da un punto di vista generale della struttura si contano numerosi interventi a causa di dissesti di natura franosa. Si noterà subito infatti che al

contrario del Collettore, i profili del contesto morfologico del ramo in questione risultano più dolci e meno acclivi. Si può pertanto spiegare il cambiamento delle tipologie di dissesto, da fenomeni di caduta massi che



Figura 5.2.1 Ramo Fenille.

caratterizzavano il Collettore a eventi franosi che interessano invece il tratto in questione.

Tratti	Galleria	Mezza costa	Lunghezza tot
FENILLE	2133 m	2105 m	4238 m

Dopo aver oltrepassato il punto di confluenza dei tre rami, la biforcazione che indichiamo con “Y”, si procede dunque all’ispezione del secondo canale adduttore.

Si nota sin dai primi metri il notevole cambiamento del contesto geomorfologico, dopo il passaggio della biforcazione infatti le pendenze aspre del Collettore mutano in profili relativamente dolci. Proprio per la diversità dei contesti che caratterizzano i tre segmenti del sistema, si è deciso di dividere le diagnosi delle criticità poiché ad ogni tratto competono caratteristiche profondamente diverse.



Figura 5.2.2 Ramo Fenille.

La zona del canale Fenille è interessata per la maggior parte da dissesti di tipo colamenti e frane per crollo accompagnate da debris flow, in questi casi è necessario operare alla prevenzione del danno in maniera completamente differente da quanto avviene invece per il canale Collettore. La struttura infatti deve essere difesa non più dalla caduta di elementi singoli che risulta aleatoria e repentina, bensì da colate di materiale sciolto il cui verificarsi può, in alcuni casi, essere predetto da movimenti del terreno o dalla valutazione del suo stato

di stabilità. Questi eventi sono causati nella maggior parte dei casi a causa della formazione di piani di scivolamento, la quale formazione a sua volta è favorita dalla presenza di acqua nel terreno. Dunque è intuitivo pensare che i periodi di maggiore allerta saranno quelli immediatamente successivi allo scioglimento delle nevi, non solo per la quantità di acqua che permea il versante ma anche per l'assenza del peso della neve che si può ritenere stabilizzante.



Figura 5.2.3 Ramo Fenille.

In questo caso le eventuali perdite del canale risultano doppiamente dannose poiché non solo rappresentano, seppur in maniera minima, una perdita per la centrale ma soprattutto perché il loro verificarsi mina la stabilità del versante.

Tuttavia, sempre dall'ispezione della zona, è stato possibile osservare l'abbondante presenza di arbusti dislocati lungo il percorso che saranno considerati anch'essi elemento a favore di stabilità.

Si approfondiranno tali problematiche nella Diagnosi del rischio.

Al seguito è svolta un'analisi di tipo puntuale con individuazione e commento delle diverse **criticità del canale** e **criticità del versante** precedentemente individuate su cartografia dal gruppo di lavoro e con successivamente riscontrate durante l'attività di sopralluogo, il tutto supportato da un parallelo percorso fotografico

B – FENILLE**Progressiva: 4000 m****Problematica rilevata: Frana da scivolamento****Oggetto: Versante****Intervento adottato: Micropali**

Una nicchia di distacco ha interessato la progressiva 4000 a seguito di acqua di infiltrazione nel terreno.

Il fenomeno risulta di conseguenze relativamente catastrofiche considerando che il suo innesto e sviluppo è avvenuto nell'arco temporale di una notte. Le dinamiche infatti non riguardano processi naturali bensì il danno si attribuisce alla perdita d'acqua avvenuta per negligenza umana.

Al momento del distacco la zona era infatti sito di cantiere a causa dello svolgimento di opere di manutenzione ordinaria del canale. La dimenticanza

di un condotto d'acqua che serviva il cantiere, tra l'altro di portata esigua, ha provocato l'indebolimento della zona e la formazione di una superficie di scivolamento attraverso la quale si è verificato il distacco e il crollo del materiale sciolto.

Questo è solo uno dei numerosi eventi che hanno interessato il canale

Micropali

Pali di fondazione dalle dimensioni generalmente comprese tra 100 e 250 mm di diametro e lunghezze dai 10 ai 15 m. Trovano la loro funzionalità se disposti in gruppo poiché nel loro insieme agiscono come tappeto di fondazione che incrementa la stabilità dell'area interessata dall'intervento e ne diminuisce la cedevolezza. Vengono utilizzati con lo scopo principale di incrementare la capacità portante di una sovrastruttura o in ausilio a fondazioni danneggiate.

In questo caso, trattandosi di una zona interessata da dissesto, è stato necessaria la realizzazione di una palizzata (in foto) per la formazione del piano operativo necessario per il sostenimento della macchina perforatrice.



I pali in questione hanno le seguenti caratteristiche:

MICROPALI TRIVELLATI L=9,00 m

Tubo in profilato cavo circolare UNI 7811 – 88.9x8 mm

Interasse 40 cm sfalsati a quinconce cm 50.

È infine realizzato un cordolo di collegamento in sommità in calcestruzzo avente sezione 100x40 cm. La stabilità del sistema è garantita da un sistema di tirantamento eseguito con:

TIRANTI INCLINATI CON BARRE DYW DAG

Dal diametro di 32 mm e lunghezza L=12,00 m.

B – FENILLE**Progressiva:** 350 m**Problematica rilevata:** Rigonfiamento ed espulsione pezzi muratura**Oggetto:** Canale

Alla progressiva 350 si incontra invece un chiaro caso di fessurazione di dimensioni rilevanti nella parte inferiore della struttura, in condizione avanzata. Si nota infatti l'espulsione di parte della muratura che interessa una zona della grandezza di approssimativamente 1m².

In questo caso è immediato ipotizzare la correlazione del dissesto con la presenza di acqua poiché l'altezza piezometrica del canale risulta in media di 1,5 m.

L'evento che ha probabilmente scatenato il danno è l'assenza di una adeguata impermeabilizzazione interna del canale. A causa di questa mancanza si sono verificate infiltrazioni di acqua (dall'interno verso l'interno) che hanno in un primo momento indebolito l'intonaco e successivamente determinato le espulsioni di pezzi.

Come si affronterà nella sezione *Diagnosi delle criticità* la mancanza di impermeabilizzazione causa non solo un danno al canale richiedendo continue attività manutentive (non di carattere risolutivo), ma anche alla centrale poiché una riduzione dell'acqua in entrata significa una diminuzione di energia.



B – FENILLE

Progressiva: primi tratti del canale



Problematica rilevata: Fessurazioni orizzontali

Oggetto: Canale

Come riscontrato anche nel tratto del Collettore, è molto frequente la vista di crepe e fessurazioni dell'intonaco disposte in maniera orizzontale.

Ed in particolare è stato riscontrato che si hanno due configurazioni tipiche:

Parte superiore della muratura, in corrispondenza dell'attaccatura della soletta con l'elemento portante verticale;

Parte inferiore della struttura, in corrispondenza del piede dell'elemento portante verticale;

poiché risultano essere due posizioni significative si ipotizza che la matrice che ne determina la formazione sia differente per entrambi i casi, per questo motivo nella *Diagnosi delle criticità* è stato deciso di affrontare l'analisi del fenomeno in maniera separata come se rappresentassero due problematiche differenti nonostante abbiano manifestazioni simili.

In questo caso si tratta chiaramente di fessure che manifestano una sofferenza della struttura al livello dell'attaccamento della soletta. Si evidenzia che non siamo in un caso di fessurazioni continue e a passo costante, ma si individua una singolare "macro" crepa che corre lungo tutto lo sviluppo del tratto interessato.

5.2.1 DIAGNOSI CRITICITA' FENILLE

Si è ritenuto opportuno affrontare lo studio dell'analisi delle criticità in maniera separata per ogni ramo del sistema adduttore poiché come precedentemente commentato, a causa della loro estrema eterogeneità nella morfologia e configurazione del versante, è come se si stesse affrontando tre situazioni molto differenti.

Pertanto se nel ramo Collettore la sua geomorfologia crea problematiche di caduta massi e frane da crollo, nel caso del ramo Fenille si affronteranno una serie di problematiche differenti poiché collegate con una geomorfologia meno aspra e dei pendii più dolci.

Colamenti detritici e debris flow

La zona del canale Fenille è interessata per la maggior parte da dissesti di tipo colamenti di detrito, accompagnati da debris flow. Il versante in questo caso è caratterizzato da una maggiore presenza di vegetazione di tipo arbusti e piante erbacee di media altezza, il che rende il suolo maggiormente predisposto a permeare e accumulare acqua.

Il fenomeno dei colamenti detritici è infatti identificato come spostamento di massa: miscuglio di acqua, sedimenti di varie dimensioni e materiale terroso, per effetto della gravità. I sedimenti si identificano generalmente come ghiaie e sabbie e in rari casi si ha anche la presenza di clasti di dimensioni significative. Il carattere di queste attività di versante risulta spesso repentino e privo di preavviso il che aumenta il grado di pericolosità degli eventi.

Il meccanismo che innesca questo fenomeno è strettamente legato all'ubicazione della zona in questione (ad esempio la presenza e la distanza da eventuali corsi d'acqua) però una caratteristica trasversale a quasi tutti i

fenomeni è la formazione di una superficie di scivolamento la quale favorisce il moto della materia.

Trattandosi di uno spostamento di materiale di dimensioni eterogenee diventa decisivo il fattore della gradazione dei sedimenti:

- gli elementi fini sono generalmente nella parte bassa, e sono gli elementi che mischiati con l'acqua determinano la formazione della superficie di scivolamento. Sono gli elementi più pericolosi per l'innescamento del fenomeno franoso.
- gli elementi di medie dimensioni si trovano nel mezzo;
- gli elementi di dimensioni notevoli come ghiaie e piccoli clasti si trovano in superficie. Questi sono invece gli elementi più preoccupanti quando l'innescamento della frana è già avvenuto poiché nella prima fase vengono trasportati, mentre nella seconda fase, quando acquisiscono energia sufficiente durante il moto, procedono autonomamente in caduta libera causando danni non solo per il carattere franoso ma anche per i fenomeni di impatto che possono provocare durante il loro moto lungo il versante.

La presenza dell'acqua è un elemento imprescindibile per lo sviluppo di questo tipo di dinamica di versante, le si possono attribuire tre funzioni decisive:

- fase I è responsabile della saturazione del terreno, e può permeare dall'esterno (acqua piovana, acqua derivante dagli scioglimenti stagionali, ecc...) oppure dall'interno (presenza di falde e corsi d'acqua).
- fase II è responsabile dell'indebolimento dello strato sottostante alla superficie e dunque della formazione di un conoide di scivolamento;
- fase III lubrifica e facilita il moto dei sedimenti e del materiale terroso durante il verificarsi del fenomeno franoso.

Nel nostro caso studio la permeazione dell'acqua avviene da entrambe le direzioni, internamente perché vi è la presenza di corsi d'acqua ed esternamente perché trattandosi di zona montana si ha stagionalmente l'apporto d'acqua da parte del fattore neve.

Si deve anche considerare un terzo, seppure esiguo, apporto d'acqua al terreno dovuto ai canali conduttori poiché essi non presentano un'ottima impermeabilizzazione interna e dunque una piccola percentuale di acqua trasportata dai canali finisce nel terreno anziché arrivare alla sua destinazione, ovvero alla centrale idroelettrica.

È dunque intuitivo pensare che i periodi di maggiore allerta siano quelli primaverili poiché immediatamente successivi allo scioglimento delle nevi, non solo per la quantità di acqua che permea direttamente il terreno, ma anche per l'aumento delle portate dei fiumi e di conseguenza l'aumento di volume delle acque convogliate dall'infrastruttura in questione e quindi dell'aumento in percentuale delle perdite che avvengono nel terreno.

In passato si sono registrati molti fenomeni di questa natura e nei casi più gravi si è provveduto ad interventi di carattere geotecnico ai fini di fornire più stabilità tanto alla struttura quanto al terreno.

Fessurazioni

Anche nel tratto di canale Fenille il fenomeno delle fessurazioni è molto diffuso, e come visto per il canale Collettore sono delle fessurazione di carattere non ordinario, ovvero fessure che una volta originatesi tendono a crescere sempre di più e nei casi più gravi sono preavviso di crisi del materiale o dell'elemento strutturale.

Come per il ramo Collettore sono presenti fessure nella parte superiore e in quella inferiore, le quali nonostante condividano la medesima forma e manifestazione hanno una matrice completamente differente e un percorso di formazione altrettanto distinto.

Fessure superiori

La nascita di queste fessure si ipotizza essere di matrice puramente strutturale e dunque riconducibile a:

- f) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per effetto delle spinte del terreno;
- g) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per effetto di pressioni idrostatiche di falda;
- h) Dilatazioni tra il ritto e la copertura per assenza o indebolimento del vincolo;
- i) Espansione di parti interne;
- j) Assorbimento di umidità;

Le sezioni a mezzacosta del canale, per la loro ubicazione, sono sottoposte alle spinte attive di natura geostatica (spinte del terreno) e di natura idrostatica (pressioni di falda) e stagionalmente anche al carico neve, con inclinazione della spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche del terreno ovvero dal suo angolo di resistenza al taglio. Queste spinte vengono assorbite dalla struttura mediante spostamenti relativi tra i lastroni in muratura che determinano così il nascere della serie di fessurazioni orizzontali nella zona superiore dell'opera.

Poiché l'altezza piezometrica delle acque nel canale si mantiene ad una altezza media di 1,50 metri dal fondo si esclude l'ipotesi di dipendenza dal fattore idraulico.

Fessure inferiori

Le fessure che si originano al piede al contrario delle precedenti sono fortemente interconnesse con fenomeni di capillarità e infiltrazione.

Si identifica dunque una *matrice idraulica* e una *strutturale*. La nascita è dovuta a:

- d) Azione della pressione idrostatica (massima al piede);
- e) Fenomeni di infiltrazione negativa: dall'interno → l'esterno, ovvero le perdite del canale.
- f) Fenomeni di infiltrazione positiva: dall'esterno → l'interno;

Come già anticipato l'altezza piezometrica delle acque all'interno del canale si registra mediamente ad un livello di 1,50 m perciò si ritiene il fattore idraulico il principale innesco.

Rigonfiamenti e distacco dell'intonaco

La presenza d'acqua non provoca danni strutturali ma ne minaccia la sua stabilità e indebolisce la resistenza dei materiali che la costituiscono. Se il canale non risulta adeguatamente impermeabilizzato:

- all'*interno* è esposto all'azione erosiva dell'acqua e al rischio che questa crei delle strade preferenziali che deviano il percorso dell'acqua da quello imposto.
- dall'*esterno* è esposto al rischio che acqua piovana, di falda o l'acqua che si forma successivamente allo scioglimento delle nevi penetri al piede dei ritti.

In entrambi i casi c'è il rischio di indebolimento del terreno di fondazione e che successivamente si inneschi un movimento di moto rigido: *rotazione al piede e ribaltamento o cedimenti differenziali della struttura*.

Oltre i problemi di stabilità geotecnica una delle peggiori conseguenze è il degrado prematuro del materiale e lo sviluppo di rigonfiamenti e distacchi di porzioni di intonaco. Tutto ciò oltre ad essere un danno estetico molto evidente, se non adeguatamente monitorato e risolto può raggiungere stadi avanzati in cui viene intaccata anche la stabilità della struttura e il suo corretto funzionamento.

Dall'ispezione avvenuta in situ non è sempre stato possibile riconoscere ed analizzare i vari fenomeni di rigonfiamenti o distacco a causa di recenti interventi di rivestimento eseguiti sulla struttura, il carattere delle quali operazioni non è risolutivo ma meramente estetico. I lavori di rifacimento dell'intonaco hanno occultato l'analisi al momento dell'ispezione ma l'aspetto che maggiormente ci preoccupa è che vengano anche occultati possibili campanelli di allarme in caso di degradi che si sviluppino all'interno della struttura.

Nel caso infatti ci sia un innesco di danno all'interno del canale, a causa della presenza del nuovo rivestimenti non è possibile vedere la manifestazione dei piccoli segni premonitori del danno. Al contrario il danno sarà evidente solo quando il degrado avrà raggiunto uno stadio avanzato.

Per questo motivo è necessario la continuazione dell'investigazione per mezzo di indagini adeguate e mirate con una successiva elaborazione di una soluzione di carattere definitivo e non palliativo, che non debba richiedere continui attività manutentive straordinarie ma che richieda semplicemente le ordinarie e periodiche attività di manutenzione strutturale.

5.3 C – LA NUOVA

La presa chiamata “La Nuova” è ubicata nel comune di Aymavilles a quota 1298 m.s.l.m. ha uno sviluppo totale di 8142 m i quali si dividono in tratti a pelo libero a mezza costa e tratti in galleria. L’infrastruttura ha il compito di convogliare le acque del torrente Grand’Eyvia che solca la Val di Cogne e incluso le acque di uno dei suoi principali affluenti chiamato Nomenon. Il torrente Grand Eyvia risulta essere a sua volta affluente di destra della Dora Baltea. Il ramo in questione risulta quello maggiormente sviluppato per estensione, la sua lunghezza di fatto è addirittura maggiore della somma degli altri due rami.



Figura 5.3.1 Ramo La Nuova..

Tratti	Galleria	Mezza costa	Lunghezza tot
LA NUOVA	5595 km	2466 km	8142 km

Il canale La Nuova è anche quello ubicato in maggiore corrispondenza con gli elementi esposti. Dall’interpretazione cartografica e dalla breve ispezione eseguita per il tratto in questione, si registra la corrispondenza pressoché costante con la strada regionale e con il comune d Vieyes.

Nella storia si sono registrati numerosi dissesti di tipo puntuale e areale che hanno interessato il canale e sono altrettanto numerosi gli interventi eseguiti per il ripristino delle condizioni di sicurezza. Si tratta di interventi di tipo strutturale come rifacimento e ricostruzione di alcuni tratti del canale interessati da attività

del versante, e interventi di tipo geotecnico come l'installazione di barriere paramassi e altri dispositivi di protezione per il canale ma soprattutto per gli elementi esposti.

La frequenza degli interventi di ripristino durante il corso degli anni è ovviamente giustificata dall'ubicazione del canale in corrispondenza di infrastrutture e centri abitativi e pertanto dalla maggiore probabilità di rischio.

Dunque nonostante presenti il maggior numero di dissesti, nel nostro caso risulta il tratto di minor interesse poiché già provvisto delle adeguate misure di sicurezza.

L'attività di ispezione ha comunque permesso di esaminare il tipo di interventi che sono stati eseguiti, come il rifacimento di un tratto del canale mostrato in figura o installazioni di barriere paramassi con particolare tecnologia di allarme.



Figura 5.3.3 Ramo La Nuova, installazioni paramassi esistenti.

C – LA NUOVA

Progressiva: 2000 m



Problematica rilevata: Significativo Debris Flow

Oggetto: Versante e Canale

Durante l'ispezione è stato raggiunta una delle zone di maggiore danno registrato, si tratta di un significativo fenomeno di Debris Flow che per dimensioni dei clasti e estensione del fenomeno può essere anche catalogato come fenomeno franoso.

La dimensione degli elementi di distacco supera di gran lunga il metro di longitudine e il loro moto ha causato danni al canale derivatore obbligando una momentanea sospensione del servizio per il tratto interessato

5.3.1 DIAGNOSI CRITICITA LA NUOVA

CAPITOLO 6

Classificazione dei movimenti franosi

Per movimenti franosi ci si riferisce ad un rapido spostamento di una massa di roccia o di terra il cui centro di gravità si muove verso il basso o verso l'esterno rispetto alla sua posizione iniziale. È possibile che questo meccanismo dinamico sia scaturito da diversi fattori come per esempio:

- Fattori geologici: ovvero caratteri strutturali come fagli e fratturazioni, giacitura, scistosità, associazione e alternanza fra i diversi strati rocciosi, degradazione, alterazione, eventi sismici e vulcanici;
- Fattori morfologici: la pendenza rispetto ad una orizzontale del versante;
- Fattori idrogeologici: circolazione idrica attraverso due modalità sotterranea e superficiale, entità di distribuzione delle pressioni interstiziali;
- Fattori climatici e vegetazionali: l'alternanza di lunghe stagioni secche e periodi di intensa o prolungata piovosità, disboscamenti e incendi;
- Fattori antropici: manipolazione della configurazione naturale originale del terreno e dunque la realizzazione di scavi e riporti o di eliminazione in zone circoscritte del manto boschivo con disboscamenti.

Ci sono due principali cause per le quali si verifica un episodio di movimento franoso e sono le seguenti:

- Cause strutturali predisponenti;
- Cause strutturali determinanti.

Le prime cause sono sostanzialmente connesse a fattori di tipo geologico, idrogeologico e morfologico e sono le più frequenti responsabili di fenomeni franosi mentre le seconde cause sopra elencate sono meno frequenti connesse invece a fattori del tipo antropico, climatico e vegetazionale e risultano essere delle cause meno comuni per il verificarsi di fenomeni franosi. In ultima battuta

possono aggiungersi alle cause scatenanti di un episodio franoso eventi vulcanici o sismici, ma in questo caso si tratta di eventi di non ordinaria frequenza e quindi eventi di carattere straordinario.

Una semplice descrizione del movimento franoso può essere la seguente: è un meccanismo dinamico di una superficie o meglio di una fascia di terreno, tipicamente di un versante o di un pendio, innescato a causa del raggiungimento tra azioni agenti e azioni resistenti. Nel contesto geotecnico le azioni resistenti sono rappresentate dai valori di resistenza a taglio del terreno, mentre le azioni agenti possono essere svariate ma per darne una definizione generale possono essere indicate come le tensioni tangenziali mobilitate per l'equilibrio e dunque la "domanda di resistenza". Essendo il collasso rappresentato dall'uguaglianza tra i due valori è possibile che questa uguaglianza si raggiunga pertanto in due casi: quando la domanda di resistenza aumenta o quando la capacità di resistenza diminuisce, supposto che in condizioni ordinarie di sicurezza la capacità sia sempre molto più alta della domanda.

Aumento della domanda di resistenza

La prima evenienza grazie alla quale è possibile il raggiungimento dell'uguaglianza tra Azioni agenti e resistenti e che conduce pertanto al collasso (in questo caso al fenomeno franoso) è l'aumento di domanda di resistenza che si definisce concretamente con:

- Incremento di carico ovvero la costruzione di manufatto, un evento sismico, ecc.
- Cambio della conformazione della superficie originaria come l'aumento della acclività dovuto a episodi di erosione o sbancamento al piede.

Riduzione della capacità di resistenza

La seconda evenienza grazie alla quale è possibile il raggiungimento dell'uguaglianza tra Azioni agenti e resistenti e che conduce pertanto al collasso (in questo caso al fenomeno franoso) è la riduzione della capacità di resistenza da parte del terreno imputabile a fenomeni come:

- Incremento delle pressioni interstiziali a causa dell'innalzamento della falda o della riduzione delle tensioni di capillarità prodotti da fenomeni piovosi;
- Fenomeni fisici, chimici o biologici.

In ogni caso è possibile che i due fenomeni si verifichino contemporaneamente e si verifichi dunque un episodio di fenomeno franoso a causa della congiuntura delle principali cause scatenanti, e che ci sia dunque una mancanza tanto lato resistenza tanto lato azioni agenti.

In generale ciò che scatena l'episodio dinamico del versante e conseguentemente il suo sviluppo, sono due aspetti strettamente correlati con i parametri di resistenza al taglio del terreno e del tipo di deformazione, in altre parole sono strettamente interconnessi con la **curva tensione-deformazione del terreno** e i **valori di resistenza al taglio di picco**. Infatti la domanda e la capacità di resistenza sono delle variabili lungo la superficie di scorrimento e quando si supera una di esse, la capacità di resistenza cade ad un valore minimo e si innesca una nuova redistribuzione degli sforzi con parziale trasferimento della domanda ad un'altra parte, meno sollecitata, della superficie di scorrimento. Quanto appena descritto prende il nome di redistribuzione degli sforzi e fenomeno di rottura progressiva. Dunque nel caso di equilibrio limite del pendio, il valore medio pesato della resistenza al taglio mobilitata lungo la superficie di scorrimento è intermedio tra la resistenza di picco e la resistenza residua.

6.1 Nomenclature

Un movimento franoso e il suo sviluppo costituiscono un fenomeno complesso ed articolato, il quale può essere semplificato attraverso una schematizzazione delle parti identificabili che lo compongono. Un fenomeno franoso è dunque costituito da:

Nicchia di distacco: parte superiore della frana con forma concava a “cucchiaio”;

Alveo di frana: porzione intermedia del corpo frana;

Cumulo di frana: parte terminale della frana con forma convessa;

L'insieme delle tre parti descritte dall'alto verso il basso forma il Corpo frana.

- Passando alla descrizione in dettaglio del corpo frana si riconoscono elementi come:
- Coronamento
- Scarpata principale
- Testata o terrazzo di frana
- Fessure trasversali
- Scarpata secondaria
- Terrazzo di frana secondario
- Zona delle fessure longitudinali
- Zona delle fessure trasversali
- Zona dei rigonfiamenti trasversali
- Zona dei rigonfiamenti a valle
- Unghia del cumulo di frana
- Fianco destro.

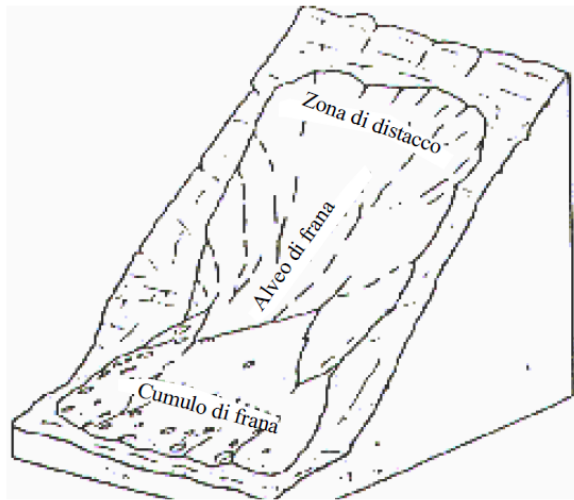


Figura 6.1.1 Schematizzazione elementi costituenti corpo frana

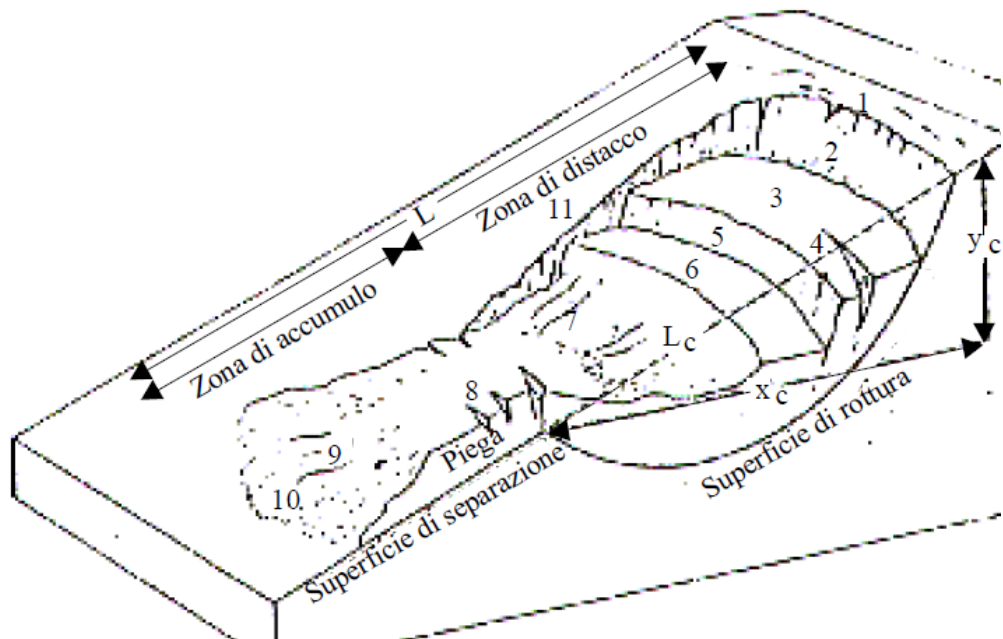


Figura 6.1.2 Nomenclatura elementi costituenti corpo frana.

6.2 Tipologie di movimenti franosi

I movimenti franosi presentano delle caratteristiche assai differenti se comparati tra di loro e questo è scaturito dalla loro natura e connessione con materiali eterogenei come terreni e rocce. I movimenti franosi infatti possono essere di diversi tipi e grandezze in base ai meccanismi dinamici e alle tipologie di suolo che intervengono. L'individuazione della tipologia del meccanismo franoso non è da sottovalutare poiché dipendendo da questo si adotterà un diverso metodo di studio. La loro suddivisione può avvenire in diversi modi poiché possono essere adottati diversi criteri di categorizzazione come: riconoscimento della superficie di scorrimento, identificazione del meccanismo di rottura o del cinematismo di collasso.

In questo caso faremo riferimento al **Sistema di Varnes 1978** un sistema di classificazione generale il quale consiste nell'individuazione di sei classi principali:

Crolli: questo meccanismo di collasso è caratterizzato da distacco di materiali rocciosi di diverse dimensioni dal lato del versante con successiva caduta libera con carattere violento e repentino, i frammenti rocciosi si muovono con attraverso salti o rimbalzi. Nella maggior parte dei casi in cui si verificano questi tipi di collassi i versanti, dai quali si originano, sono caratterizzati da preesistenti discontinuità strutturali come faglie e piani di stratificazioni. Il carattere dei fenomeni è repentino ed improvviso con conseguenze in genere catastrofiche a causa dell'elevata velocità di caduta e della grandezza e consistenza degli elementi di distacco. I fenomeni di distacco si originano generalmente da pareti subverticali di roccia, dalle quali avviene la separazione di blocchi di materiale di medie e grandi dimensioni i quali precipitano ai piedi della scarpata. Come precedentemente anticipato nelle descrizioni generali, i fenomeni di escursione

termica (alternanza di cicli freddi e cicli caldi) possono essere cause scatenanti di questa tipologia in particolare di meccanismo di collasso. A questa causa principale si sommano anche altre di carattere meno incisivo come l'erosione alla base, i fenomeni sismici e in piccola percentuale azioni antropiche.

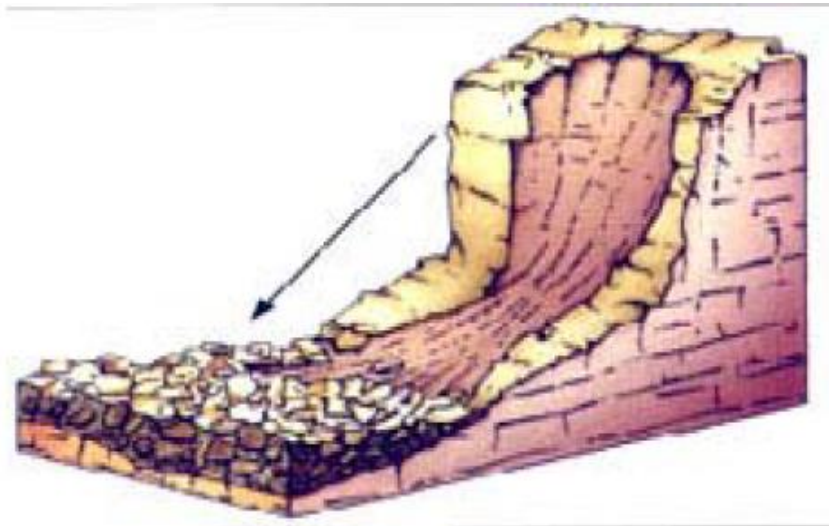


Figura 6.2.1 Tipologia di franca da crollo.

Ribaltamenti: si tratta di un meccanismo di aspetto e cause assai simile a quello dei crolli però con peculiari differenze. Così come accade per i crolli le cause scatenanti sono l'esistenza originaria di discontinuità strutturali come faglie e piani di stratificazione, causate a loro volta dalla ciclicità stagionali e possono verificarsi anche per la presenza di fenomeni sismici. I Ribaltamenti tuttavia si distinguono dai crolli per la dinamica del crollo nella fase iniziale. Il meccanismo di collasso conta di un ribaltamento frontale del materiale ovvero un preliminare distacco del blocco roccioso e il ruotare dello stesso attorno ad un punto situato al di sotto del baricentro di massa del blocco. Questo tipo di collasso interessa materiali lapidei che sono stati sottoposti a intensi processi di alterazioni o che posseggono delle pronunciate superfici di discontinuità come precedentemente commentato (faglie o stratificazioni lapidee differenti). Il

distacco nel blocco roccioso avviene da superfici subverticali o a causa di scalzamenti al piede nel caso di corsi d'acqua.

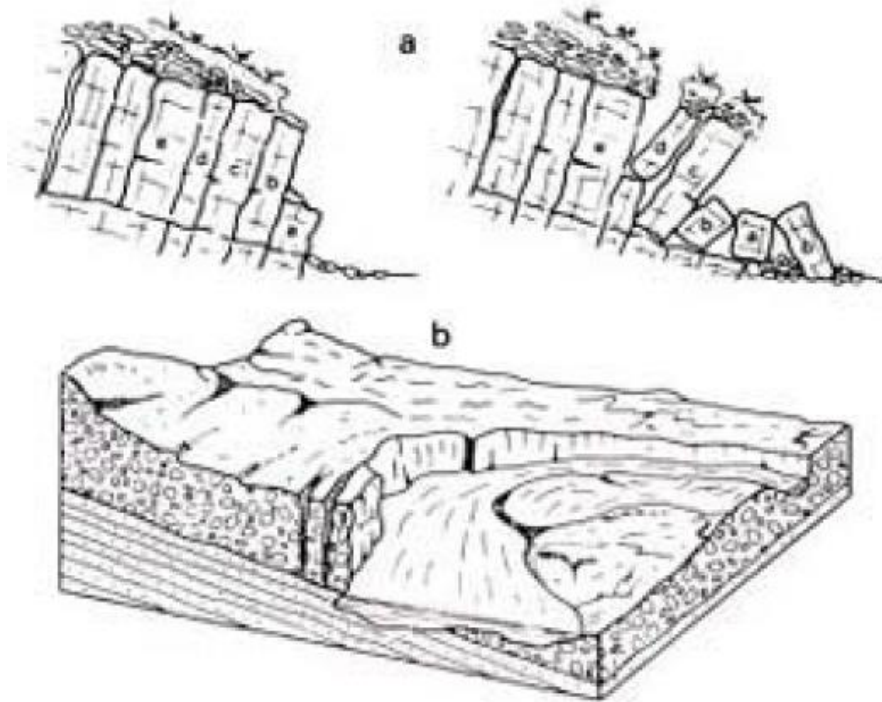


Figura 6.2.2 Tipologia di franca da ribaltamento.

Scorrimenti: in questo caso il meccanismo di collasso risulta estremamente differente rispetto ai primi due citati a causa di diversità nel materiale e nella cinematica di sviluppo. Il materiale risulta molto più eterogeneo. Mentre i crolli e ribaltamenti interessano blocchi rocciosi di medie e grandi dimensioni, gli scorrimenti possono interessare frammenti rocciosi di diverse dimensioni, dalle più piccoli alle più grandi presenti nello stesso episodio. Occorre fare ancora una sub divisione in questo:

- Scorrimenti rotazionali: riguardano terreni e rocce dotate di coesione e si sviluppano lungo una superficie generalmente concava la quale si genera

contestualmente alla rottura del materiale. Si innesca una seconda frana detta di colamento dovuta all'allargamento della parte inferiore del cumulo di frana.

- Scorrimento traslazionale: riguarda invece il movimento di masse rocciose o di terreni lungo una superficie di discontinuità poco scabrosa e originatasi già in precedenza.

Come cause di questa tipologia di meccanismi di collasso si identificano come principali le idrogeologiche e dunque la presenza di acqua di infiltrazione o lo spostamento delle stesse nelle zone in cui la stabilità del versante risulta più precaria e come cause secondarie si riconoscono le azioni antropiche e i fenomeni di terremoto, tuttavia con incidenza assai inferiore rispetto alle prime.

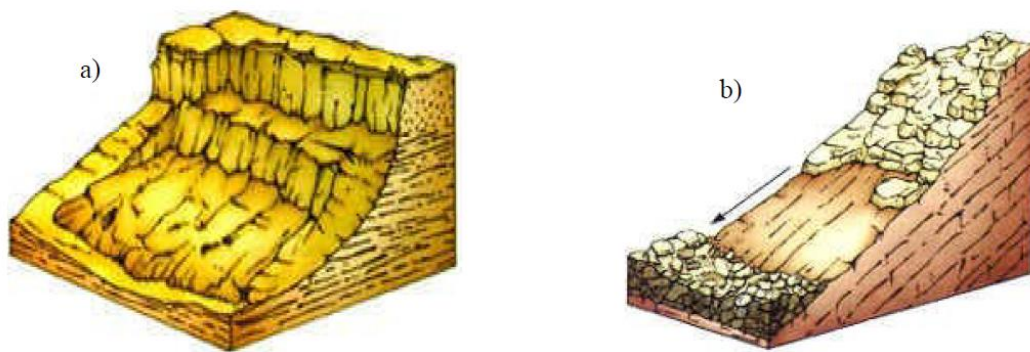


Figura 6.2.3 Tipologia di frana da scorrimento.

Espansioni laterali: in questo caso il meccanismo risulta complesso e articolato. Si classifica a comportamento plastico e con componente dinamica prevalentemente orizzontale. Si originano prevalentemente da massa rocciosa lapidea e fratturata e giacciono su terreni dal comportamento plastico

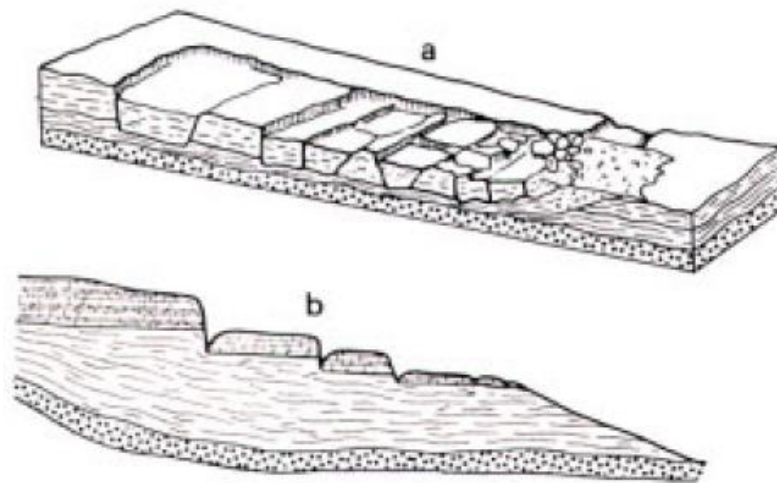


Figura 6.2.4 Tipologia di franca da espansione laterale.

Colamenti: meccanismi di collasso per certi aspetti simile agli scorrimenti, si tratta di una categoria di collassi che interessano perlopiù materiale sciolto e aree molto estese. Il materiale di distacco risulta essere omogeneo nelle dimensioni e raramente si osservano blocchi di grosse dimensioni, le superfici di rottura non sono definibili precisamente e le velocità dei colamenti durante il loro spostamento verso il basso possono variare in base al punto nella massa del corpo frana considerato. È un movimento repentino senza evidenti preavvisi e le conseguenze sono spesso di carattere catastrofico. Questo meccanismo risulta peculiare per la similitudine del corpo frana ad un fluido viscoso, infatti durante il suo sviluppo il materiale segue l'andamento superficiale del terreno sul quale si riversa, modificando la sua forma in base agli elementi che incontra nel cammino e formano l'alveo come solchi, massi, ecc.

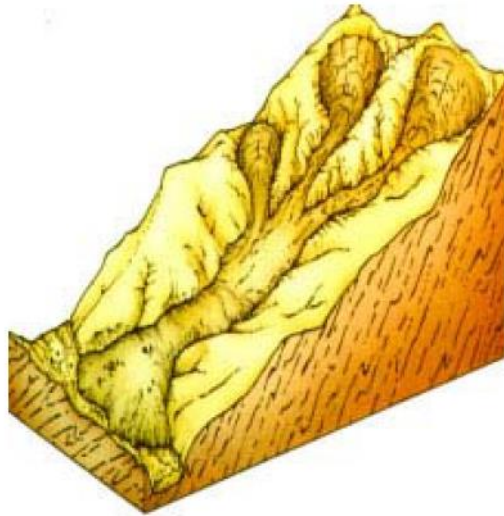


Figura 6.2.5 Tipologia di franca da colamento.

Fenomeni complessi: come precedentemente commentato i fenomeni di natura geotecnica sono fortemente eterogenei e di carattere assai aleatorio ed è per questo motivo che in molti casi il danno non si identifica in maniera univoca con una precisa categoria di fenomeno, ma al contrario può accadere che ci sia una commistura di fenomeni e dinamiche che rendono l'evento catastrofico unico e peculiare.

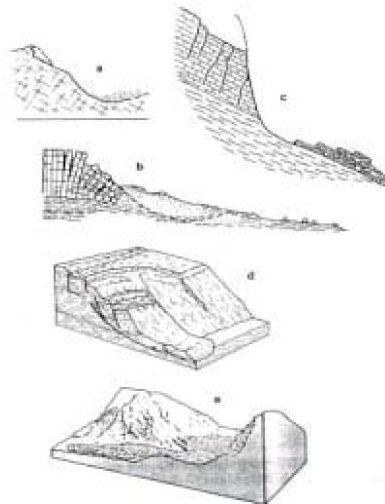


Figura 6.2.7 Tipologia di franca costituita da fenomeni complessi.

6.3 Analisi di stabilità dei pendii

In generale i metodi di analisi della stabilità dei pendii sono molteplici e di diverse tipologie, tuttavia nella pratica professionale i più affermati e diffusi sono i metodi che fanno riferimento all'equilibrio limite e che assimilano il comportamento del terreno ad un materiale rigido – perfettamente plastico. Si immagina dunque che il terreno non subisca deformazione fino a quando non risulti raggiunta la condizione di rottura, e una volta raggiunta la resistenza al taglio di mantiene costante e indipendente dalle deformazioni accumulate. Con questa semplificazione, consegue che:

- La rottura si manifesta lungo una superficie netta di separazione tra la massa in frana e il terreno stabile
- La massa in frana è un blocco indeformato in moto di roto-traslazione rigida
- La resistenza mobilitata lungo la superficie di scorrimento in condizioni di equilibrio limite è costante nel tempo, indipendentemente dalle deformazioni e quindi dai movimenti della frana, e ovunque pari alla resistenza al taglio
- Non è possibile determinare né le deformazioni precedenti la rottura, né l'entità dei movimenti del blocco in frana, né la velocità del fenomeno.

Inoltre la maggior parte dei metodi di verifica della stabilità dei pendii considerano il problema piano (cioè ipotizzano che la superficie di scorrimento sia di forma cilindrica con direttrici ortogonali al piano considerato), analizzando di norma una o più sezioni longitudinali del versante e trascurando gli effetti tridimensionali.

Ulteriori ipotesi semplificative, diverse da un metodo all'altro, sono necessarie per rendere il problema staticamente determinato, cosicché a parità di geometria e di caratteristiche fisico-meccaniche del terreno, il risultato dell'analisi, in termini di superficie di scorrimento critica (superficie per la quale il rapporto tra resistenza disponibile e resistenza mobilitata assume il valore minimo) e di coefficiente di sicurezza (rapporto tra resistenza disponibile e resistenza mobilitata), non è unico ma dipende dal metodo adottato.

Nonostante tutto però, l'affidabilità dei risultati dipende quasi esclusivamente dalla corretta schematizzazione del fenomeno e dalla scelta dei parametri di progetto che, proprio a causa della scarsa aderenza alla realtà fisica del modello costitutivo adottato per il terreno, devono essere fissati con grande attenzione e consapevolezza.

Occorre poi distinguere i pendii naturali dai pendii artificiali, non solo e non tanto perché i volumi in gioco e le condizioni di carico sono spesso molto diversi, o perché alcuni metodi di analisi sono più adatti allo studio delle stabilità degli uno o degli altri, ma perché è generalmente molto diversa la conoscenza qualitativa e quantitativa della geometria superficiale e profonda, e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni.

Nei **pendii artificiali** (ad esempio i fianchi dei rilevati stradali, degli argini o delle dighe in terra) quasi sempre la geometria è semplice e nota, i terreni sono materiali da costruzione omogenei ed hanno caratteristiche fisico-meccaniche note, poiché corrispondenti alle specifiche di capitolato, lo schema bidimensionale (problema piano) è aderente alla realtà fisica, poiché si tratta di opere con una dimensione di gran lunga prevalente rispetto alle altre due e con variazioni graduali della sezione trasversale, le condizioni di

carico possono variare rapidamente nel tempo, ad esempio per gli argini al variare del livello del fiume, o per le dighe al variare del livello di invaso.

I **pendii naturali** invece sono di norma caratterizzati da una morfologia superficiale profonda e complessa, da una grande variabilità spaziale delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, e di norma da una meno rapida variazione delle condizioni di carico (salvo le azioni sismiche). Le indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche, la cui estensione ed approfondimento devono essere commisurati, in termini economici, all'importanza, alle finalità, all'estensione ed alla gravità del problema in studio ed alla fase di progettazione, possono solo fornire un quadro approssimato e parziale della realtà fisica.

Ne caso degli scavi le condizioni sono talora, in un certo senso, intermedie, poiché la geometria superficiale è ben definita, ma il terreno di cui è costituito il pendio è naturale, e quindi può essere caratterizzato anche da forte variabilità spaziale, le condizioni di carico, legati ai tempi e ai modi di realizzazione dello scavo e di permanenza dello scavo aperto, possono variare sensibilmente nel tempo.

n.3 pendii indefiniti

n.4 pendii di altezza limitata

n.5 pendii artificiali

n.6 pendii naturali – metodi delle strisce

n.7 scelta del coefficiente di sicurezza

6.4 Criteri di intervento per la stabilizzazione delle frane.

Con stabilizzazione dei terreni si fa riferimento a quell'insieme di misure preventive o azioni post-eventum che conferiscono al terreno una maggiore consolidazione ed una più elevata resistenza nei confronti di eventi che vedono esso protagonista di azioni ingegneristiche. Quando si parla di stabilizzazione del terreno generalmente questo è dotato di una percentuale di pendenza, dalla quale deriva in parte l'aumento di instabilità. Con riferimento alla stabilizzazione dei terreni è strettamente correlato il concetto di coefficiente di sicurezza, ed in particolare il tentativo di aumentarlo, tutte le misure di stabilizzazione hanno generalmente come obiettivo quello di portare il fattore di sicurezza ad un valore tale per cui questo non rappresenti uno stato di allarme.

Precisamente il coefficiente di sicurezza è una grandezza a cui si fa riferimento in diversi ambiti ingegneristici, non solo di carattere civile ma anche energetico, meccanico,... le cui grandezze comparate cambiano al variare del fenomeno analizzato. Generalmente un coefficiente di sicurezza è rappresentato da un rapporto che vede azioni resistenti divise per le azioni agenti. Nel caso specifico la resistenza è rappresentata dalla capacità resistente del terreno lungo quella che viene identificata come la potenziale superficie di scorrimento mentre le azioni agenti sono rappresentate dalla domande di resistenza necessaria a mantenere l'equilibrio. Pertanto al momento di adoperare misure di stabilizzazione e quindi al momento di voler incrementare il FS coefficiente di sicurezza, si hanno due opzioni: incrementare la resistenza oppure diminuire la domanda.

Tuttavia risulta assolutamente ovvio dover precedere l'azione dall'analisi. Qualsiasi fenomeno necessita di una completa ed esaustiva diagnostica del caso che consiste in un'analisi a 360°. Si considererà pertanto il fenomeno da un

punto di vista tipologico con l'individuazione della casistica pero poi potersi dirigere nel corretto senso per procedere ad analisi di tipo morfologico territoriale, plano-altimetrico, analisi riguardo i litotipi e gli elementi geotecnici che si possono pensare come incriminanti di cause e effetti. Congiuntamente alle analisi della morfologia andranno chiaramente svolte analisi di tipo idrogeologico, sulla presenza o meno di elementi di questa natura che possano influenzare direttamente o indirettamente il territorio in analisi. Come descritto precedentemente l'azione di sopralluogo risulta l'elemento chiave per dare inizio alle seguenti attività e per renderle concrete, attività che generalmente precede quella di analisi in laboratorio e grazie alla quale è possibile indirizzare le indagini.

Solo quando le seguenti analisi saranno state concluse sarà possibile dare una identità al problema. L'identificazione in prima battuta consiste nel grado di pericolo che le si assegna pertanto una macro divisione consiste nella distinzione tra intervento d'urgenza o intervento definitivo.

Si definisce intervento di urgenza quando l'evento franoso è in sviluppo e può costituire una seria minaccia per persone o beni che ne occupano la zona o che presentano comunque una vicinanza rilevante. L'intervento di urgenza richiede come soluzione estrema quella di procedere all'evacuazione della zona in questione. Questa misura riguarda tuttavia una percentuale molto bassa dei casi. Quando infatti non si raggiungono livelli estremi di sicurezza ma si resta comunque nella circostanza di urgenza si procede con la raccolta del massimo numero possibile di informazioni necessarie a inquadrare il fenomeno, tenendo conto di poter realizzarla nel minor tempo possibile. Si farà dunque riferimento a quel tipo di informazioni di accessibilità immediata, bypassando canali di ricerca che possano tardare anche giornate per l'acquisizione delle stesse.

Indipendentemente dall'ottenimento in forma esaustiva o meno delle informazioni le quali sono necessarie all'analisi del problema in maniera dettagliata, si procederà con l'adozione di misure di sicurezza immediate che possano placare l'aumento del rischio e se possibile diminuirlo. Le misure immediate non sono quasi mai misure risolutive, risultano palliative e necessarie affinché il rischio non accresca. Sono generalmente dettate dall'esperienza poiché sono prese semplicemente dall'osservazione dalle prime manifestazioni di quello rappresenta il potenziale danno. Per le misure risolutive e che mirano all'estirpazione totale del rischio saranno necessarie molte più analisi e l'elaborazione di una strategia che risulti un compromesso economico e di efficacia. A titolo di esempio si riportano alcune misure di carattere immediato: la sigillazione delle fratture per abbassare la probabilità di infiltrazione di acqua piovana e per evitare dunque la formazione di superfici di scivolamento premonitrici di un evento franoso.

L'intervento definitivo come anteriormente commentato risulta invece il risultato di una analisi ben pensata e che scaturisce dalla considerazione di diversi punti di osservazione. L'intervento risulta tra l'altro il compromesso tra diversi fattori, tra i quali si conta certamente quello logistico ed economico. I due tipi di interventi non sono necessariamente escludenti, anzi nella maggior parte dei casi se l'individuazione del danno è di tipo urgente, in prima battuta si adopera una misura immediata ed economica che possa reggere il tempo necessario per la elaborazione successivamente di un intervento definitivo.

Nell'eventualità in cui non sia necessario passare per un intervento di tipo urgente, ma ci si trovi nelle condizioni di avere sufficiente disponibilità in termini temporali per la pianificazione di un intervento definitivo si

considereranno come fasi preliminari quelle di analisi. Nel contesto geotecnico e idrogeologico si considerano pertanto indispensabili le seguenti indagini:

- Topografiche
- Geofisiche
- Geotecniche
- Geologiche

E analisi specifiche di settore nel caso l'evento lo richieda. L'indagine è l'atto volto a identificare l'entità e la magnitudine del potenziale danno, la cinematica e gli scenari di sviluppo del danno. Con tale fine si adopereranno dunque tutti gli strumenti che fino al giorno d'oggi la tecnologia ha permesso sviluppare. A titolo di esempio:

- Piezometri
- Inclinometri
- Estensimetri
- Cartografie e basi topografiche.

L'attività di indagine, in termini economici, rappresenta una percentuale rispetto al totale delle azioni da realizzare. Essendo una percentuale non indifferente e considerando le indagini come punto di partenza per la pianificazione dell'intervento definitivo, risulta non conveniente la loro sottovalutazione o il risparmio in questa fase. Se si cade in una errata identificazione del problema si potrebbe evidentemente sovrastimare o sottostimare il problema.

Nel caso in cui avvenga una sovrastima del problema ingegneristico, la pianificazione dell'intervento definitivo sarà figlia di questa e si adotteranno

misure inutili o più semplicemente si cadrà nell'omonimo errore di sovradimensionamento delle opere di intervento.

Nel caso più grave in cui il problema venga sottostimato, si procederà ad una pianificazione inefficiente delle misure, le quali una volta messe in opera ed inserite nel panorama in analisi saranno anch'esse soggette ai rischi e alla manifestazione del danno. In casi più gravi, le suddette misure di risoluzione impiantate per la protezione di vite umane e beni materiali, potrebbe rappresentare un ulteriore minaccia per gli stessi.

L'eventualità in cui si raggiunga una adeguata identificazione della strumentazione e della quantità di elementi da adoperare, non sarà sufficiente l'installazione in situ e l'attesa del risultato da esse registrato. Sarà necessaria una gestione dell'attività di indagine con l'aiuto di personale esperto e costanti controlli del corretto funzionamento della strumentazione di indagine. In breve uno strumento impiantato sarà sempre capace di restituirmi un risultato ma la correttezza e la affidabilità di quest'ultimo dipende dall'attività di monitoraggio della strumentazione e delle condizioni in cui questa lavora.

CAPITOLO 7

Proposta di soluzione

Al fine di prendere una decisione è necessario disporre di tutte le informazioni possibili riguardo qualsiasi alternativa si possa prendere in considerazione e che possa risultare una buona candidata al fine di risolvere la problematica per la quale si deve la sua nascita, valutando se essa sia in grado di raggiungere tutti gli obiettivi fissati.

La maniera migliore per non commettere errori durante la fase di elaborazione della soluzione è disporre di una vasta quantità di dati, filtrati in maniera tale che siano funzionali ed utili all'indagine, poiché grazie agli stessi è possibile intraprendere un percorso di soluzione il più adatto possibile. Disponendo dunque come materia prima di una quantità di dati di qualità è possibile avanzare al passo successivo. In alcuni casi i risultati delle azioni scelte possono generare una nuova classe di dati, che si integreranno addizionalmente alla prima classe di dati conoscitivi e preliminari.

Il processo di elaborazione delle alternative e di scelta della migliore si può brevemente segmentare in otto tappe:

- 1) Identificazione del problema, nonché quanto descritto fino a questo momento nei paragrafi precedenti. Sostanzialmente la descrizione dello stato attuale da confrontare con lo stato a cui si desidera arrivare.
- 2) Identificazione dei criteri per intraprendere una decisione. Ogni individuo capace di prendere delle decisioni possiede un ventaglio di esperienze e di criteri che lo guidano in questa azione, i quali possono risultare completamente differenti da quelli di qualsiasi altro collega. È importante la discussione e il confronto tra diversi punti di vista.
- 3) Assegnazione di ponderazione ai criteri. I criteri che si assegnano al processo decisionale non hanno tutti la stessa importanza ma assumono

a seconda delle priorità del problema, pesi differenti. Il concetto di prioritizzazione è stato già osservato nella fase preliminare del caso studio al momento di scegliere la priorità delle tappe del sopralluogo. Si ripete ancora il concetto di prioritizzazione, strettamente collegato a quanto avvenuto nella prima fase, però in questa fase è volto a guidare il tipo di azione da compiere ai fini risolutivi. È usuale stabilire i rilevanti e studiare per essi una soluzione e a seguire i meno importanti per i quali anche in termini di tempistiche si interverrà con meno urgenza.

- 4) Sviluppo di alternative. Consiste nella capacità di ottenere e presentare tutte le alternative fattibili che possono risolvere il problema con esito. Si tratta delle diverse formule risolutive e funzionali ma che si differenziano per modalità e strumentazione.
- 5) Analisi delle alternative. Il responsabile della presa di decisione all'interno dell'impresa deve studiare minuziosamente le alternative che sono state proposte. Vanno sicuramente analizzati i punti forti e le debolezze di ognuna, devono essere comparate tra di loro e comparate con i criteri assunti nella seconda e terza tappa del processo.
- 6) Selezione dell'alternativa, nonché fulcro del caso studio. Una volta stabilite e presentate tutte le alternative e una volta valutate da parte del responsabile sul quale ricade ricade la maggiore autorità decisionale, sarà il momento di passare alla scelta della soluzione ottimale da adottare ovvero la migliore tra quelle presentate secondo il procedimento stabilito.
- 7) Implementazione della formula risolutiva. Una volta completato il processo di selezione della soluzione da adoperare, ricopre una importanza fondamentale la capacità di metterla in atto secondo quando

si è stabilito a parole. La prima cosa da eseguire è la comunicazione al cliente, nel nostro caso la centrale di C.V.A. della Valle D'Aosta. Quando il cliente risulti soddisfatto con le misure di risoluzione proposte si potrà finalmente procedere con la materializzazione della soluzione. Ovviamente questa fase sarà gestita attraverso una pianificazione, organizzazione e direzione dell'opera.

- 8) Valutazione dell'efficacia. È necessario valutare che il risultato raggiunto sia conforme con il risultato che ci si aspetta, e conseguentemente che il problema abbia raggiunto una soluzione. Nel caso in cui il problema persista, le scelte adoperate risultano sbagliate per diverse ragioni. Materiale di analisi scarso, erronea lettura ed interpretazione del suddetto materiale, sottostima del problema... In questa percentuali dei casi sarà dunque necessario ripercorrere i passi precedenti e agire in maniera distinta.

Come sempre nelle situazioni ingegneristiche non ci si trova davanti a casi semplici e lineari e proprio per questo motivo il fattore esperienza si rivela uno strumento fondamentale per far fronte ad inconvenienti come questi.

7.1 Osservazioni

Il lavoro di analisi delle carte regionali e della documentazione gentilmente fornita dalla ditta committente CVA e in seguito all'attività di sopralluogo e post analisi emerge chiaramente come il canale sia interessato puntualmente e in zone diffuse da una molteplicità di fenomeni di dissesto che possono comprometterne l'integrità della struttura e in zone di esposizione elevata possono minare alla sicurezza delle infrastrutture stradali e abitative a valle.

I principali fenomeni individuati che possono indurre a dissesti sono relativi a:

- Cadute di materiale da monte.
- Cedimento del piano di posa del canale.

Nel primo caso il fenomeno è causato da morfologia di versante e conformazione dello strato roccioso, per il quale non è possibile installare misure affinché il fenomeno non si verifichi piuttosto sarà necessario l'impianto di barriere ingegneristiche in maniera tale che le conseguenze siano limitate.

Il secondo caso invece è anch'esso innescato da cinematismi e conformazione del versante però in altri casi il suo sviluppo potrebbe essere scatenato da perdite di acqua del canale, per il quale invece si ci è possibile intervenire ampiamente.

7.2 Interventi caduta materiale da monte

Come precedentemente commentato, nel caso in cui il fenomeno riguardi caduta di materiale dall'alto risulta impossibile evitare che questo accada in quanto si tratta di una conseguenza di morfologia di versante e si unisce a tutti i fenomeni naturali che definiscono il paesaggio montuoso in generale.

L'ingegneria moderna ci permette però senza dubbio di proteggerci dai suddetti fenomeni e limitarne le conseguenze disastrose.

Trattandosi di un ambiente montano ed essendo la quota di ubicazione del canale abbastanza elevata, occorre trovare un accordo tra difesa della sicurezza e conseguenze di impatto ambientale. Non sarebbe opportuno in effetti l'installazione di barriere il cui impatto sul versante risulti elevato, sia dal punto di vista dell'installazione nella natura con le relative conseguenze nella flora e fauna e sia dal punto di vista dell'impatto visivo. Sarà dunque necessario pensare ad una soluzione che risulti un compromesso tra i due aspetti da salvaguardare: sicurezza e ambiente.

Al momento il sistema di protezione del canale, come si è potuto osservare durante l'attività di sopralluogo, conta di un sistema di protezione che si innesta in maniera coerente con l'ambiente circostante e che mostra un'ottima efficienza e al tempo stesso riduce al minimo l'impatto dell'intervento ingegneristico nel contesto naturale. Questo tipo di protezione però non riguarda tutto lo sviluppo del canale, ma risulta perlopiù puntuale per le zone di massima esposizione. Il sistema di protezione conta di opportuni "scudi" sul canale costituiti in da tronchi di legno opportunamente disposti nella parte sommitale dello stesso i quali fungono sia da chiusura della sezione del canale e sia da copertura per eventuali blocchi o distacchi. In alcuni tratti di progressiva possono anche trovarsi scudi di altro materiale come travetti, trattandosi tuttavia di interventi datati.



Figura 7.2.1 Esempio di ripristino del canale eseguita con esito positivo.

Solo in alcuni casi di chiara esposizione del canale a possibili nicchie di distacco, si sono posizionate reti paramassi puntuali a quota nettamente elevata rispetto a quella in cui si colloca il versante. Tuttavia il fenomeno di caduta di materiale di distacco si manifesta in volumi limitati, pertanto le quantità di materiali non sono sufficienti all'istallazione di barriere continue. La copertura di determinati segmenti di progressive risulta sufficiente per una buona

protezione del canale. Se il fenomeno cominciasse ad espandersi e ad interessare volumi maggiori di materiale di distacco, in tal caso sarebbe necessario un monitoraggio esteso del versante. In questa eventualità sarebbe necessario intraprendere una tipologia di studio completamente differente per analisi da condurre e misure di monitoraggio da adoperare.

Facendo riferimento ai dati relativi ai volumi di distacco registrati fino ad ora, non si rilevano volumi significativi dunque assumendo che non si registri un peggioramento repentino della situazione ma che resti invariata per cinematiche e sviluppi, si decreta che le misure puntuali installate e la copertura del canale nella parte sommitale con tronchi, siano sufficienti per assicurare una protezione generale del canale. Inoltre fenomeni di una rilevante importanza non hanno quasi mai un'unica manifestazione, ma anteriormente all'evento o contestualmente allo stesso vi sarebbero fenomeni premonitori come spostamenti e cedimenti del piano di posa del canale che possono far accendere una spia di allarme e far presupporre che si stia per verificare qualcosa di più grave. Pertanto con l'attuazione di una efficiente e ben pensata misura di monitoraggio lungo gli intervalli di progressive del canale di accertato rischio, oggetto originario del nostro caso studio, sarebbe possibile capire anche quello che succede allo stesso versante che ospita la struttura.

7.3 INTERVENTI SUL CANALE

Ci si concentra dunque sugli interventi adoperabili sul versante ed in particolare sulla pianificazione di monitoraggio applicabile agli intervalli di progressive che maggiormente risultano esposte al pericolo intrinseco ed estrinseco. Gli interventi saranno pensati principalmente per individuare manifestazioni che possano anticipare il cedimento del piano di posa del canale lungo tutto il suo sviluppo.

Al contrario delle opere ingegneristiche di datazione recente che sono costituite per la maggior parte in cemento armato, come accennato precedentemente il canale risulta invece una costruzione che adempie alla sua funzione da un periodo di tempo di circa un secolo, motivo per il quale non si ritrova in esso la tipica morfologia delle costruzioni moderne ma la sua peculiarità sta nell'essere un'opera realizzata interamente in muratura.

Come siamo abituati a pensare le strutture che presentino tanto la fibra di cemento quanto quella di acciaio, posseggono dei meccanismi di collasso che in qualche senso "ci fanno comodo" poiché la struttura prima di raggiungere il punto di rottura passa per differenti ed elevati stati coattivi che preannunciano il fenomeno catastrofico. Le fasi di crescita e concentrazione degli sforzi interni si manifestano esternamente con deformazioni del materiale e della porzione di struttura. La fase di incremento di tensioni e deformazioni rappresenta pertanto ciò che interessa al momento del monitoraggio, poiché più preavviso dà la struttura prima di collassare e più possibilità c'è di realizzare un intervento tempestivo ed efficace.

Per quanto riguarda le strutture realizzate interamente in muratura invece a causa della mancanza dell'acciaio non è possibile avere la percezione e la misura di queste fasi di coazioni, aumento degli sforzi e concentrazione delle

tensioni e dunque delle corrispondenti deformazioni. Lo studio di monitoraggio diventa pertanto altamente complesso in quanto il fenomeno di rottura, per quanto commentato precedentemente, non possiede degli eventi premonitori di collasso. Stati tensionali non eccessivamente alti sono sufficienti per il raggiungimento dello stato di rottura. Non essendoci internamente grandi accumuli di tensioni, allo stesso modo esternamente non vi è il manifestarsi di grandi fenomeni di deformazione. Solitamente la rottura in questi casi avviene per separazione di parti in blocchi rigidi i quali sono soggetti a spostamenti macroscopici.

7.3.1 Il canale visto come un insieme di blocchi rigidi

Nel nostro caso studio, in seguito alle analisi di sopralluogo per l'ispezione esterna eseguite dal gruppo studio del Politecnico di Torino ed in seguito all'analisi del materiale fornito riguardante le ispezioni interne, è emerso confrontando le due informazioni che:

Il canale è frequentemente soggetto all'apertura di fessure che interrompono la sua continuità e lo segmentano in blocchi che subiscono spostamenti relativi tra di loro. La presenza di fessurazioni orizzontali generalmente posizionate nella metà inferiore del canale nella parte esterna, e le fessurazioni sia orizzontali che verticali nel paramento murario nella parte interna determinano un comportamento del canale discontinuo assimilabile a quello di una catenaria di blocchi rigidi soggetti a movimenti relativi tra di loro. L'estensione delle fessure registrano sviluppi lineari significativi dell'ordine di grandezza della dimensione della sezione trasversale del canale. Le manifestazioni esterne di tale comportamento sono pertanto rispecchiate da un sistema di ragnatele di fessure sul paramento intonacato esterno.

FESSURAZIONI ESTERNE:



Figura 7.3.1.1 Evidenti fessurazioni esterne lungo il paramento murario del canale.

FESSURAZIONI INTERNE:



Figura 7.3.1.2 Corrispondenti fessurazioni interne lungo il paramento murario del canale.

7.3.2 Proposta di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio deve essere in grado di rilevare non solo i movimenti relativi tra i blocchi rigidi di muratura ma in grado anche di contestualizzarli e riferirli a tutto il canale.

Sarà necessario dunque un tipo di installazione che individui uno spostamento relativo e millimetrico del singolo sotto-blocco: *sistema di riferimento relativo*

e che la detta misura venga messa in relazione con un punto fisso ed esterno che rappresenti invece il *sistema di riferimento assoluto*.

Proprio per questo motivo strumenti di misura come estensimetri o fibre ottiche rappresenterebbero un inutile dispendio di denaro e tempo, poiché misurerebbero solamente ciò che accade nel sistema di *riferimento relativo* senza però correlazionare questi dati con il sistema di *riferimento assoluto*. Oppure in una situazione complementare si potrebbe invece verificare lo spostamento di un gruppo di sotto-blocchi, si pensi ad un segmento di canale soggetto ad un localizzato cedimento del piano di posa. In questo caso l'estensimetro non registrerebbe alcuna misura nel sistema relativo ed ugualmente non ci sarebbe alcuna correlazione tra spostamenti relativi puntuali del canale e i punti fissi esterni.

Per non realizzare un sovradimensionamento del sistema si sceglie di sottomettere a monitoraggio solo i segmenti del canale caratterizzati dalle maggiori probabilità di dissesto e si propone l'installazione della seguente strumentazione:

- Inclinometro biassiale posizionato ogni 2 m di sviluppo del canale da fissare su una base ancorata alla parete laterale di valle del canale, nella sua parte inferiore. L'inclinometro dovrà avere una risoluzione di misura pari ad almeno 1/1000 di grado sessagesimale e dovrà essere facilmente smontabile e rimontabile sulla sua base di fissaggio in modo da garantire la possibilità di manutenzione della parete (ad esempio rifacimento dell'intonaco, ripresa e sigillatura di fessure ect.)
- Sensore di temperatura dell'aria per tratto omogeneo (per condizioni di esposizione) della condotta;

- Sensore di temperatura superficiale della struttura della condotta per tratto omogeneo (per condizioni di esposizione) della stessa, collocato subito sotto lo strato di intonaco.
- Sensore di temperatura dell'acqua all'interno del canale, per ogni ramo dello stesso.

7.3.3 Catena inclinometrica

La peculiarità e l'efficacia del sistema di monitoraggio pianificato dal gruppo di studio del Politecnico di Torino sta nella metodologia proposta per l'analisi del dato registrato.

Un dato infatti non è nient'altro che una misura, un numero, un insieme di cifre. Disponiamo di infiniti strumenti per raccogliere ed immagazzinare dati, tuttavia quello che davvero risulta utile e risolutivo ai fini dell'inquadramento del problema è l'uso che ne facciamo del dato. Come lo trattiamo, che significato ne diamo e come lo contestualizziamo.

Per questo motivo i dati raccolti dalla successione di inclinometri lungo i vari tratti di condotta monitorata saranno correlati tra di loro e contestualizzati. Per fare ciò si farà uso del *principio della catena inclinometrica*, un metodo secondo il quale i dati ricevuti dagli inclinometri sono integrati per mezzo di funzioni di peso e da questo procedimento sarà possibile la stima di spostamenti relativi ed assoluti.

Per un buon funzionamento della catena di misura inclinometrica, le estremità della stessa devono terminare in punti che possano ragionevolmente ritenersi immobili. In caso contrario si avrà una corretta stima degli spostamenti relativi tra le varie parti dell'opera, mentre gli spostamenti assoluti potranno essere influenzati da una componente di moto rigido non direttamente rilevabili dai dati inclinometrici.

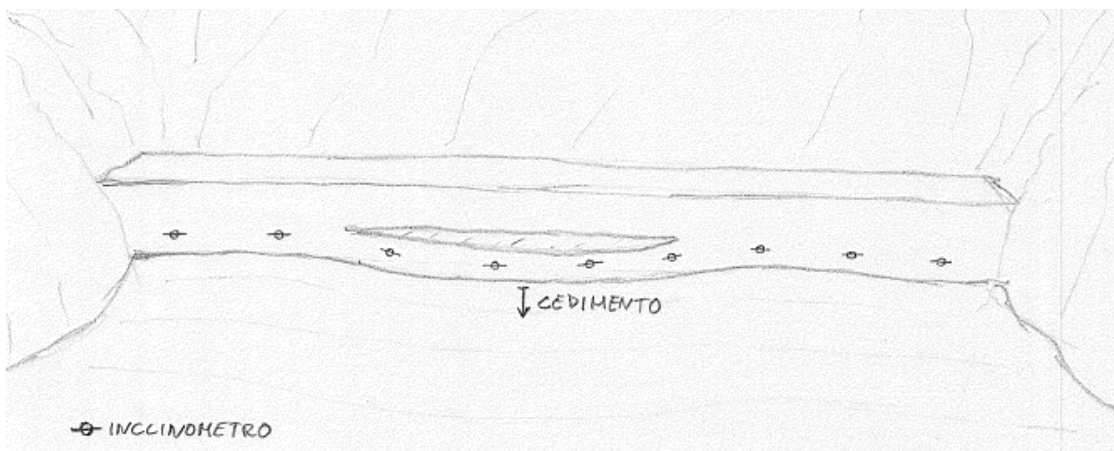
La catena inclinometrica risulta in grado di individuare i diversi meccanismi di collasso ovvero:

- Cedimento del piano di posa con formazione di fessurazione orizzontale;
- Cedimento del piano di posa con formazione di fessurazione verticale;
- Smottamento del pendio con cedimento verticale e torsione del canale.

Poiché la sequenza dei dati registrati negli istanti precedenti ai diversi casi sarebbero completamente differenti ed in particolare.

Cedimento del piano di posa con formazione di fessurazione orizzontale

La natura del dato che farebbe presupporre una situazione di emergenza sarebbe la registrazione su un tratto di canale sufficientemente esteso anomalie nell'abbassamento di quota. Avendo stabilito per il posizionamento degli inclinometri un interasse di due metri ed avendo verificato in situ che le fessure orizzontali presentano uno sviluppo orizzontale di una quantità che supera l'unità di misura stabilita, si potrebbe stabilire come criterio:



CRITERIO: Anomalia del dato di registrazione della quota del piano di posa riscontrato in un numero di inclinometri

$$n > 3$$

e per un numero di misurazioni consecutiv:

$$n > 2$$

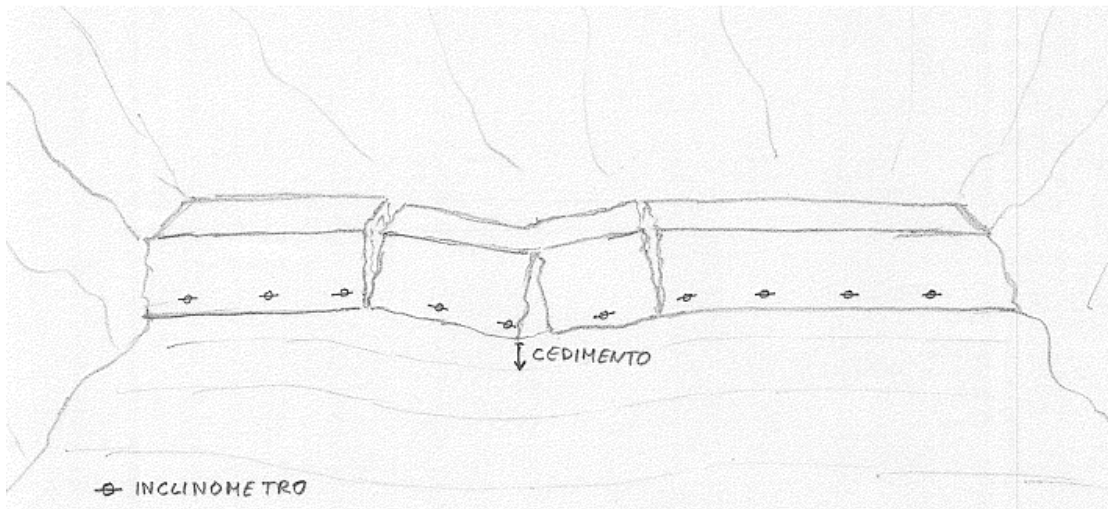
senza sensibili variazioni dell'angolo di posa:

$$\Delta\Phi < 10^\circ$$

con buona probabilità il dissesto avverrà per cedimento del piano di posa causato da fessurazioni orizzontali del canale.

Cedimento del piano di posa con formazione di fessurazione verticale

La natura del dato che farebbe presupporre una situazione di emergenza potrebbe essere la registrazione su un tratto di canale molto ristretto anomalie nella misurazione delle quote con abbassamenti consistenti e frequenti. Avendo stabilito per la lettura delle informazioni un intervallo temporale di un anno, si potrebbe stabilire come criterio:



CRITERIO: *Anomalia del dato di registrazione della quota del piano di posa riscontrato in un numero di inclinometri*

$$n < 3$$

e per un numero di misurazioni consecutive

$$n > 1$$

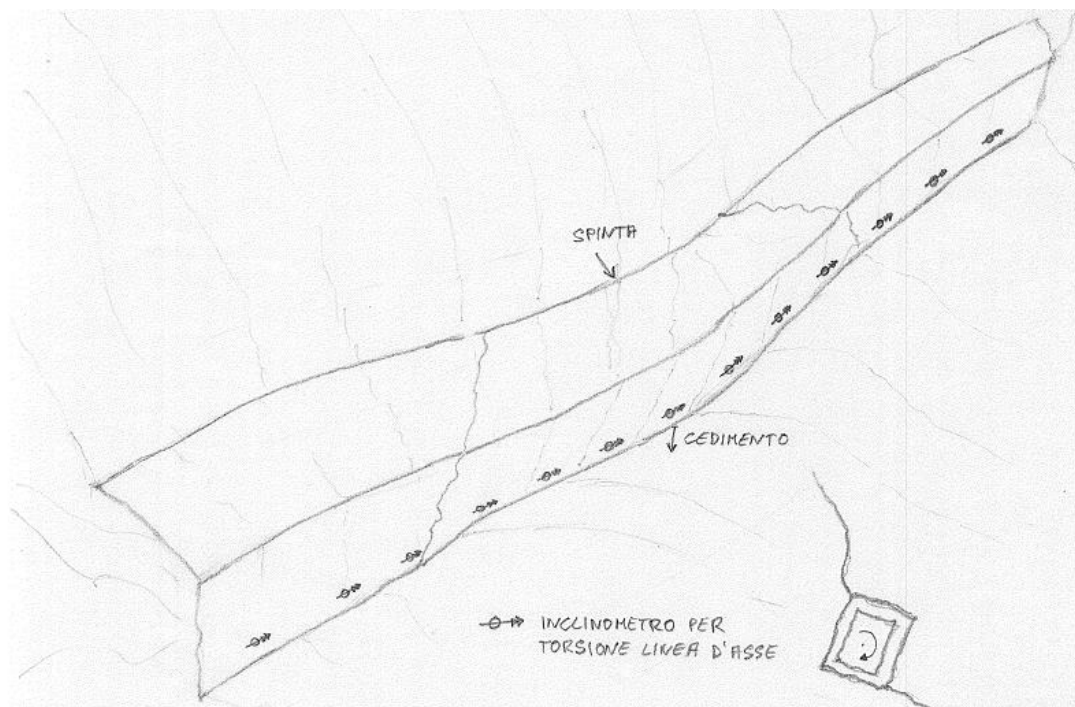
senza sensibili variazioni dell'angolo di posa:

$$\Delta\Phi < 10^\circ$$

Con buona probabilità ci si potrebbe aspettare un dissesto causato da fessurazioni verticali del canale.

Smottamento del pendio con cedimento verticale e torsione del canale.

La natura del dato che farebbe presupporre una situazione di emergenza sarebbe la registrazione su un tratto di canale sufficientemente esteso anomalie nell'abbassamento di quota e contemporaneamente la registrazione di sensibili variazioni di angolatura in misurazioni adiacenti in termini spaziali e successive in termini temporali. In questo caso la causa del dissesto potrebbe essere la combinazione di diversi fattori, pertanto si potrebbe stabilire come criterio:



CRITERIO: *Anomalia del dato di registrazione della quota del piano di posa riscontrato in un numero di inclinometri*

$$n > 2$$

e per un numero di misurazioni consecutive

$$n > 1$$

con sensibili variazioni dell'angolo di posa:

$$\Delta\Phi > 10^\circ$$

Con buona probabilità ci si potrebbe aspettare un dissesto causato dalla combinazione di cedimento del piano di posa e rottura della struttura del canale causata dalla spinta del terreno subita a monte da parte del canale.

Supposto che il posizionamento delle estremità della catena inclinometrica avvenga in punti in cui non si registrano cedimenti verticali, lo spostamento di un generico punto della catena può essere calcolato per integrazione delle rotazioni.

Per rotazioni rilevate in punti discreti, lo spostamento viene approssimato attraverso la sommatoria dei prodotti degli angoli misurati, espressi in radianti, per la lunghezza dei segmenti ideali tra gli strumenti di misura.

Facendo riferimento alle schematizzazioni del canale e del posizionamento della catena inclinometrica, si considera che l'operazione di integrazione discreta può essere eseguita da destra o da sinistra, e come parametro di controllo si può stabilire che il risultato dello spostamento destro della porzione n deve coincidere con il risultato sinistro della porzione $n+1$, o viceversa.

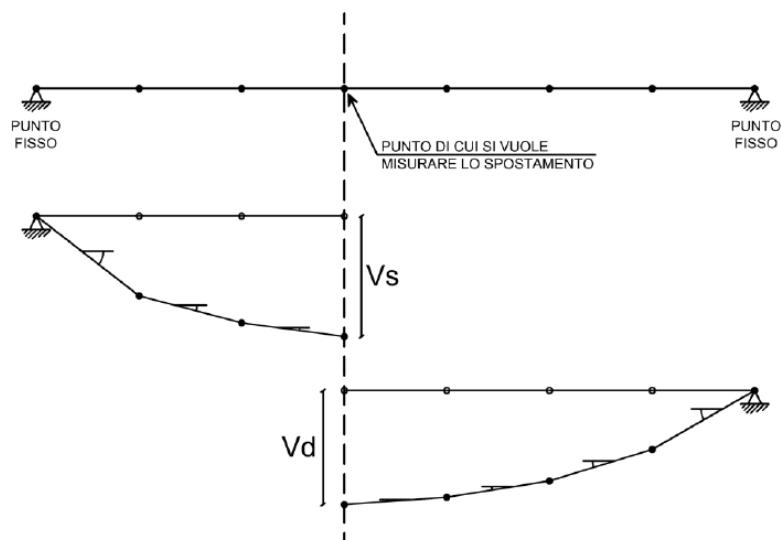


Figura 7.3.3.1 Catena inclinometrica. Principio di funzionamento: spostamento a destra deve coincidere con spostamento a sinistra.

Tale principio può essere utilizzato sia per migliorare l'accuratezza dello spostamento calcolato, sia per individuare strumenti guasti, cedimenti dei loro punti di fissaggio, crolli localizzati.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere progettato per garantire la possibilità di espansione modulare sia delle catene inclinometriche che del software di elaborazione dei dati e di interfaccia utente. Ciò consentirà di aggiungere, successivamente e in qualsiasi momento, nuovi tratti del canale in base alle esigenze di CVA o all'insorgenza di nuove criticità inizialmente non prese in conto. Ciò significa che in base alle esigenze della ditta o in base alle problematiche che possono presentarsi, in alcuni intervalli di progressiva del canale potrebbe infittirsi la maglia di misura, posizionando un inclinometro ogni 1 metro anziché ogni 2 metri come il gruppo di studio ritiene efficiente; viceversa in altri intervalli di progressiva del canale se la situazione si ritiene sufficientemente stabile e la probabilità di dissesto risulta bassa allora si

potrebbe pensare di rendere la maglia meno fitta con posizionamenti degli inclinometri uno ogni 2,5 o 3 metri o qualsivoglia distanza si ritenga adeguata.

Il gruppo studio del Politecnico raccomanda tuttavia per ogni tratto di progressiva preso in esame e considerato a rischio dissesto, una distanza costante pari ad almeno 2 metri.

7.3.4 Calibrazione del sistema

Trattandosi di un sistema di misurazione da installare in ambiente montano e pertanto sottoposto a cicli stagionali peculiari sarà necessaria una calibrazione del sistema in maniera tale che il dato possa essere depurato dalla influenza dall'influenza:

- Della temperatura
- Dei cicli di gelo e disgelo
- Da possibili interazioni con la flora e la fauna del posto.

Tale obiettivo sarà raggiunto grazie ad un continuo monitoraggio del dato abbinato a periodiche attività di sopralluogo in maniera tale da verificare la coerenza con quanto avviene in situ e le informazioni registrate.

7.3.5 Layout del sistema

Di seguito viene mostrato il layout del sistema, dunque la schematizzazione delle sue componenti e l'interazione delle parti. Idealmente il sistema sarà costituito da:

- Stazioni di acquisizione modulari collocate lungo lo sviluppo del canale, negli intervalli di progressive ritenute maggiormente esposte a rischio e con una probabilità di dissesto alta;

- Bus di acquisizione dei dati di campo alle quali convogliano i dati raccolti puntualmente dai bus di acquisizione collocati lungo l'opera idraulica, e che fungono da ponte per inviare i dati alla centrale;
- Centrale di acquisizione dei dati e post-elaborazione e storicizzazione. A questo punto del sistema si elabora il dato per depurarlo dai possibili rumori di acquisizione, si tratta in maniera tale da darne una interpretazione ingegneristica al fine di trarne delle conclusioni sull'andamento del sistema e sullo sviluppo della situazione in situ;
- Interfaccia utente, parte terminale dell'apparato responsabile di tradurre il dato grezzo frutto dell'analisi in dato interpretabile dal personale che si occupa della gestione del sistema.

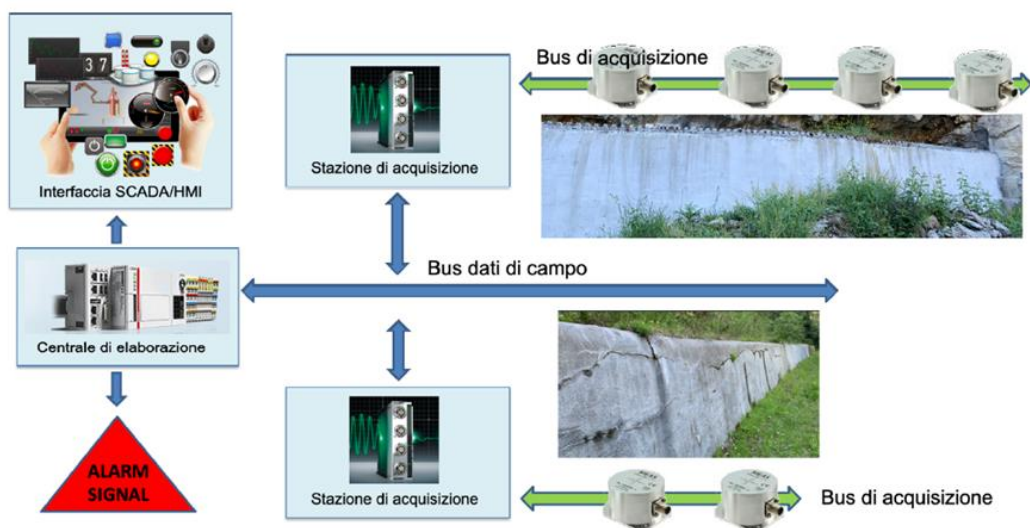


Figura 7.3.5.1 Schematizzazione elementi costituenti il sistema di monitoraggio.

7.3.6 Punti forza del sistema di monitoraggio

Come già commentato precedentemente un sistema di monitoraggio che conta di strumentazioni di misura come estensimetri e fibre ottiche risulterebbe un sistema inefficiente oltre che una perdita di tempo e di denaro, poiché non si

riuscirebbe ad individuare in maniera funzionale il dato indagato, non sarebbero in grado di cogliere le modalità e le entità di rottura tipiche delle opere in muratura.

Per il nostro caso studio si ritiene che la catena inclinometrica sia un sistema particolarmente idoneo per la tipologia di opera e per le modalità di rottura osservate.

Si individuano come punti forza:

- Alta modularità funzionale e possibilità di espansione o spostamento della strumentazione nelle varie tratte dell'opera, in qualsiasi momento;
- Immediato significato fisico e ingegneristico delle grandezze monitorate;
- Possibilità di osservazione dei trend di lungo periodo;
- Costo limitato e modulabile nel tempo.

7.3.7 Installazione

Per quanto riguarda l'installazione si procederà

- Stazioni di acquisizione modulari, come commentato precedentemente, verranno posizionate ogni 2 m di sviluppo del canale e fissate su una base ancorata alla parete laterale di valle, nella sua parte inferiore della struttura. L'apparato sarà facilmente smontabile e rimontabile sulla sua base di fissaggio in modo da garantire la possibilità di manutenzione della parete come attività di rifacimento dell'intonaco, ripresa e sigillatura di fessure ect.
- Bus di acquisizione dei dati di campo saranno collocate circa ogni 250 sensori, e dunque un singolo bus sarà in grado di coprire una lunghezza del tratto monitorato di circa 500 m. (supposto che i 250 sensori siano disposti ad interasse di 2 metri).

- Linea di alimentazione elettricamente sicura e con requisiti di manutenzione relativamente bassi rispetto a tecnologie ad impianto di tipo solare che richiedono invece una frequenza di manutenzione molto più accentuata. La linea di alimentazione sarà a bassissima tensione verrà installata lungo il paramento idraulico nella parte esterna.
- Dorsale dati in fibra ottica posizionata anch'essa lungo il paramento murario esistente la quale potrebbe essere agevolmente realizzata durante i periodi di ispezione e manutenzione periodica della condotta. In corrispondenza dei tratti monitorati la dorsale verrebbe spillata in modo da derivare localmente la linea elettrica e quella dati per collegare la stazione di acquisizione.

A titolo illustrativo si allega il datasheet di un possibile sensore idoneo.



MEAS
D-SERIES INCLINOMETER
NO. 608602-01
M12 CONNECTOR
IP 67/68

RoHS CE

D-SERIES INCLINOMETER

SPECIFICATIONS

- Dual axis inclinometer
- Measurement range $\pm 5^\circ$ $\pm 15^\circ$ or $\pm 30^\circ$
- High accuracy
- Digital and analogue output signal
- CANopen
- CE approved

The D-series of conductive inclinometers offers modern SMD-technology in an environmentally protected and a robust aluminum housing. The dual axis inclinometer achieves high accuracy over a wide temperature range.

The fast microcontroller works with a linearization and temperature compensation routines. This full calibrated inclinometer is available with digital output RS 232 and analogue voltage output 0.5 up to 4.5 V or current output 4...20mA or PWM output or switch output signals. Furthermore is inclinometer is available with a CANopen interface.

FEATURES

- High accuracy
- Robust metal housing, IP Class 67/68
- High resolution
- EMC protected
- CE approved
- Rugged M12 male connector
- Programmable digital filtering to minimized influences from shock and vibration
- Programmable zero point, baud rate, output rate

Figura 7.3.7.1 Esempio di inclinometro presente sul mercato.

7.3.8 Costi dell'installazione

Per quanto riguarda una indicazione di massima dei costi vivi per la sensoristica idonea al progetto si può ritenere che un inclinometro con le caratteristiche idonee alla misura abbia un costo di mercato massimo di circa € 400, mentre ogni stazione locale di acquisizione abbia un costo stimato di circa € 2.000.

Ciò significa che il costo massimo della strumentazione per 100 m di canale monitorato possa essere circa pari a $2.000 + 50 \cdot 400 = \text{€ } 22,000$ (ipotizzando un interasse della catena inclinometrica pari a 2m). Si ritiene che una accurata selezione della componentistica e una corretta e approfondita progettazione potrebbero ulteriormente ridurre il costo indicato. Inoltre, i costi dei sensori decrescono anche sensibilmente con le quantità acquistate e dunque, in caso di impiego esteso, potrà ottenersi una riduzione anche sensibile. Ovviamente, a tale stima vanno aggiunti i costi non ricompresi nella precedente valutazione quali quelli relativi alla stazione centrale di elaborazione, alla progettazione del sistema e del relativo software e all'installazione in sito (inclusiva dei cablaggi e delle protezioni). Una stima dei costi più accurata potrà essere effettuata una volta definiti, di concerto con CVA S.p.A., i tratti da monitorare, eventualmente organizzati per tappe successive di sviluppo del sistema.

7.2 Esempio di applicazione in ambito ferroviario

La tecnologia descritta e che si propone come applicazione risolutiva al caso studio ha un antecedente nell'ambito ferroviario. Il System Delta nasce infatti in un contesto differente, la prima applicazione lo vede impegnato nel monitoraggio delle piattaforme ferroviarie ed in particolare nel controllo della geometria dei sistemi di sostegno provvisorio del binario.

Il sistema System DELTA viene realizzato dal professore al Politecnico di Torino ed Ingegnere Giulio Ventura, sotto richiesta della società ESSEN Italia,

con il proposito di creare un sistema di monitoraggio della geometria del binario durante la costruzione di sottopassi ferroviari.

Il sistema viene infatti in seguito sviluppato ed impiegato in maniera sistematica dalla società ESSEN Italia nei suoi cantieri.

Gli obiettivi per i quali si è messo a punto il sistema sono:

- Monitoraggio continuo della geometria dei binari e delle operazioni di livellamento;
- Restituzione “ingegneristica” dei dati;
- Facilità di lettura dei risultati da parte del personale del cantiere;
- Robustezza e facilità di installazione anche da parte di personale non specializzato;

Il sistema si presenta nella sua prima applicazione come una catena di strumenti che consente di misurare gli abbassamenti di punti notevoli a partire da una qualsiasi configurazione di riferimento.



Figura 7.3.7.1 Disposizione dei sensori lungo i binari.

Ogni strumento è dotato di un sensore digitale, un microcontrollore per l’elaborazione statistica dei dati con eliminazione automatica di misure affette

da errore dovuto ad urto o vibrazioni ed un trasmettitore wireless dei dati per garantire la massima accuratezza nella acquisizione delle misure.

Risulta essere un prodotto unico sul mercato e pensato specificamente per applicazioni in cui è richiesta accuratezza ed affidabilità della misura, unita alla massima robustezza e semplicità di installazione. Il software risulta essere originale con controllo ridondante che consente di individuare errori di misura dovuti a mal disposizione, urto delle apparecchiature o eventuali funzionamenti.

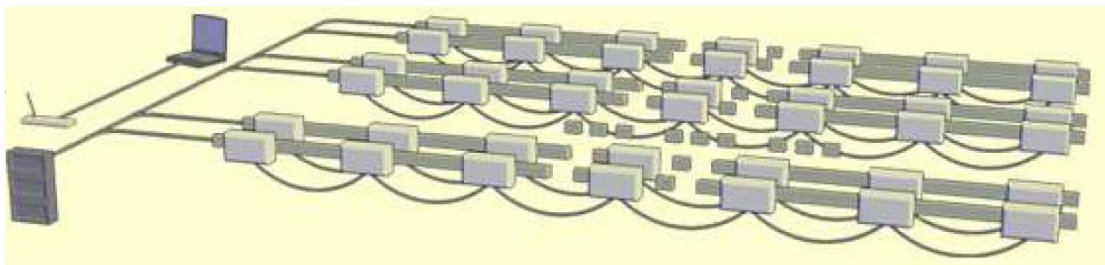


Figura 7.3.7.2 Schematizzazione delle basi di acquisizione dati.

Nota la lunghezza di una catenaria (costituita da tratti rigidi) e l'inclinazione di ciascun lato, è possibile calcolare l'abbassamento di ogni punto.

L'interfaccia del software elaborato per la raccolta ed interpretazione dei dati presenta la seguente interfaccia

SEZIONE INSERIMENTO DATI

Configurazione della geometria del sistema

The screenshot shows the 'System DELTA' software interface. The title bar at the top left reads 'System DELTA'. The main window has a light beige background with the title 'System DELTA' centered at the top. The interface is divided into two main sections: 'Assegna/Edita Geometria' on the left and 'Acquisizione' on the right. Under 'Assegna/Edita Geometria', there are four rows of controls: 'Nodi' with a 'Nodi definiti' field containing '19', 'Catene' with a 'Catene definite' field containing '3', 'Coppie sghembo' with a 'Coppie definite' field containing '1', and 'Sezioni sghembo' with a 'Sezioni definite' field containing '1'. Under 'Acquisizione', there are three main buttons: 'Inizializzazione Sistema', 'Topologia Sistema', and 'Acquisizione / Vista letture'. To the right of these buttons are two input fields: 'Porta comunicazione' with the value '3' and 'Sensori collegati' with the value '18'. An 'Ok' button is located at the bottom right of the interface.

Assegna/Edita Geometria		Acquisizione	
Nodi	Nodi definiti: 19	Inizializzazione Sistema	Porta comunicazione: 3
Catene	Catene definite: 3	Topologia Sistema	Sensori collegati: 18
Coppie sghembo	Coppie definite: 1	Acquisizione / Vista letture	
Sezioni sghembo	Sezioni definite: 1	Ok	

Figura 7.3.7.3 System DELTA, interfaccia inserimento dati.

SEZIONE ACQUISIZIONE DEI DATI

Acquisizione dei dati giornalieri corrispondenti ad ogni nodo ad intervalli orari regolabili, si riceve la lettura degli spostamenti verticali settati in millimetri.

System DELTA

System DELTA

Letture 5 di 11 Pubblica dati

Data 06/10/2008 Ora 15.53.49 Avanzamento 0 Abb. ant. 0.0 Abb. post. 0.0

Note:

Spostamenti verticali Catena: 1

Nodo	Spostamento verticale (mm)	Err. lettura
100	0.0	No
103	12.8	No
104	6.2	No
105	8.7	No
106	11.1	No
107	13.8	No
108	16.2	No
109	18.0	No
110	21.2	No

Spostamento vert. max (mm) 45.9

Nodo 118 Catena 1 Grafico

Sghembi Binario: 1

Sezione	Sghembo (mm/m)	Err. lettura
0	0.0	No

Sghembo max

Sezione Binario Grafico

Nuova Lettura Reports Ok Uscita Programma

Figura 7.3.7.4 System DELTA, interfaccia acquisizione dati.

SEZIONE ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Per rendere la visualizzazione del dato in maniera più immediata ed “ingegneristica” il software propone una panoramica di visualizzazione del risultato generale. Pertanto si fa l’utilizzo di un diagramma cartesiano sul quale vengono rappresentate le misurazioni, in particolare sull’asse delle ascisse si rappresenta la totalità dei nodi mentre sull’asse delle ordinate si rappresentano i relativi spostamenti in millimetri.

Le finestre di visualizzazione del dato in questa modalità corrispondono al numero di catene che vengono installate, con catene intese il numero dei gruppi di sensori relazionati tra di loro.

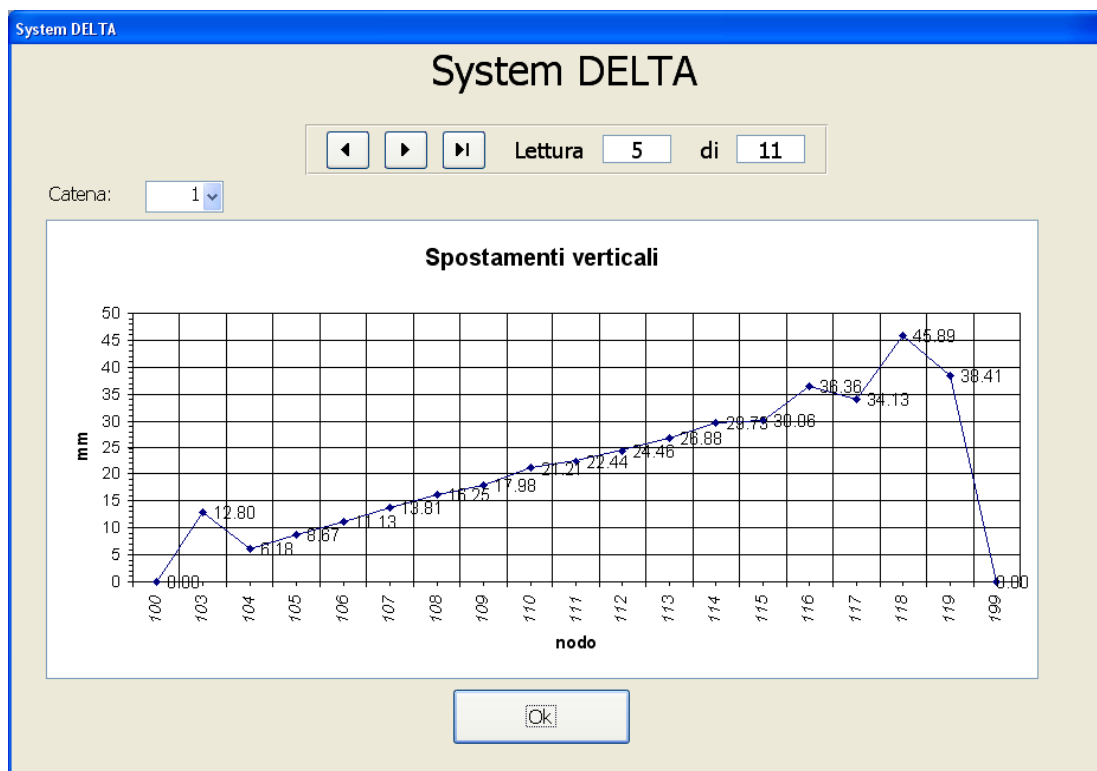


Figura 7.3.7.5 System DELTA, interfaccia restituzione dei risultati.

CAPITOLO 8

Conclusioni

Il lavoro Progetto di Monitoraggio e Riqualficazione di canali adduttori di Chavonne affrontato dal gruppo di lavoro del Politecnico si è rivelato interessante e stimolante in ogni sua parte, e la soluzione proposta al problema si è rivelata soddisfacente per l'impresa committente della centrale di Chavonne.

L'impresa committente CVA Compagnia Valdostana Delle Acque commissiona il Politecnico di Torino per la messa a punto di un sistema di Monitoraggio e Riqualficazione dei canali adduttori della centrale idroelettrica di Chavonne.

I canali della lunghezza complessiva di 15 km e di dimensioni tali da permettere l'accesso al loro interno, sono costituiti interamente in muratura e privi di armature, adempiono alla loro funzione di incanalare le acque dei fiumi per condurle alla vasca di raccolta da un periodo di oltre un secolo. A causa della loro ubicazione e del passo del tempo, i canali sono stati soggetti a numerosi eventi di dissesto, di carattere estrinseci ed intrinseci.

Con il gruppo di lavoro del Politecnico, il professore ed Ingegnere Bernardino Chiaia ed il professore ed Ingegnere Giulio Ventura è stata realizzata una attività di sopralluogo previa allo studio delle manovre risolutive. L'attività di sopralluogo è stata inoltre resa possibile grazie al personale tecnico dell'impresa committente CVA, grazie alla loro gentilezza e disponibilità ci è stato permesso ispezionare i punti che secondo il planning di sopralluogo redatto dal gruppo studio, presentano una priorità di intervento maggiore. L'attività di sopralluogo è stata utile per raccogliere materiale fotografico e per accertarsi identificare il problema

Allegati

A – COLLETTORE

PRIORITA' ALTA

- **1100 m - 500 m** caduta massi che interessano il canale.
- **400 – 300 m** area pot. Soggetta a frane superficiali.
→ In questo punto interessante vedere muro spanciato.
- **4200 m** CONFLUENZA RAMI CANALE vari tipi di dissesti: area soggetta a frane superficiali, frane da scivolamento, caduta massi.
→ In questo punto interessante vedere opere di ripristino passate (micropali 2015).

PRIORITA' MEDIA

- **2400 m** attraverso STRADA PODERALE: ispezione progressiva 2500 – 2800 m.
→ interessante vedere rifacimento muri di sostegno.

B – FENILLE

PRIORITA' ALTA

- **4100 m – 2900 m** ispezione area soggetta a vari tipi di dissesti, colamenti, cadute massi, con particolare attenzione alle seguenti progressive:
 - **3950 m** presenza di palificata di rinforzo causa zona fortemente interessata da colamenti;
 - **3650 m** presenza crepe orizzontali sul canale.
 - **3500 m** presenza crepe orizzontali sul canale.
 - **3450 m** presenza di acqua potenziale pericolo.
 - **3300 m, 3200 m, 3080 m** micropali al piede del canale e cordolo di collegamento.
 - **3200 m** corrispondenza centro abitato.

- **100 m** OPERA DI PRESA (ricostruita 1995) soggetta a caduta massi, eventi alluvionali e valanghivi.

- **1300 m – 1000 m** (attraverso STRADA PODERALE imboccabile alla progr. 900 m) area interessata da frane di scivolamento e fenomeni valanghivi, con ineteresse alle seguenti progressive:
 - **1200 m, 1000 m** corrispondenza fabbricati.

C – LA NUOVA

PRIORITA' ALTA

- **3400 m – 3200 m** corrispondenza con strada regionale, area soggetta a frana per crollo e caduta massi, (presenza di piazzali che dovrebbero facilitare l'ispezione).

→ In questo punto interessante vedere galleria con chiodature e armature.

- **3100 m – 2900 m** corrispondenza comune Vieyes, area potenzialmente soggetta a frane superficiali e fenomeni valanghivi

PRIORITA' MEDIA

- **1600 m, 1400 m, 1200 m – 900 m.**

Sono delle zone soggette a debris flow e cadute massi e di estrema vicinanza alla strada regionale, ma sono anche i tratti con maggiore presenza di opere di rinforzo strutturale e opere di difesa da caduta massi, dunque l'ispezione sarebbe interessante per vedere come sono stati realizzati gli interventi. (ecco perché priorità media).

PRIORITA' BASSA

- **2800 m – 2600 m** area potenzialmente franosa e soggetta a caduta massi (tuttavia sono presenti opere di difesa caduta massi).

Bibliografia

Bernardino Chiaia, Slides Corso Scienza delle Costruzioni II, Politecnico di Torino.

Renato Lancellotta, Geotecnica, *Zanichelli* Quarta Edizione.

Renato Lancellotta Josè Calavera, Fondazioni, *McGraw-Hill*.

Mecanica de suelos en la ingenieria practica, K-Terzaghi, *El Ateneo* - 1973.

Mecanica de Suelos, Lambe T.W, *Limusa* – 1972.

Duncan, J.M., 1996. State of the art: Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. *J. Geotech. Eng.*, 122, 577-596.

Kim, J., R. Salgado, H.S. Yu, 1999. Limit analysis of soil slopes subjected to pore-water pressures. *J. Geotech. Geoenviron.*, 125, 49-58.

Huybrechts, N., 2005. Workpackage 3: Innovative design tools in geotechnics. Technical Report, *GeoTechNet - European Geotechnical Thematic Network*.

Jaime Bojorque Iñiguez, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca MASKANA, Vol. 2, No. 2, 2011, *Revista semestral de la DIUC*.

Siscon, Relazione CVA S.p.a

Geoportale Valle D'Aosta: <http://geoportale.regione.vda.it/download/ctr/>

Regione Valle D'Aosta: <https://www.tuttitalia.it/valle-d-aosta/>

CVA S.p.a. <https://www.cvaspa.it/acqua/impianti/index.jsp>

ArcGis

Ringraziamenti